Aus dem Anatomischen Institut der Universität Marburg
(Lehrstuhl I: Prof. Dr. med. J. W. Rohen)

Zur histologischen Struktur der Kehlkopfmuskulatur beim Menschen und einigen Säugern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades in der gesamten Medizin
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philippsuniversität Marburg an der Lahn

vorgelegt von

Reinhold Heckemann
aus Malsfeld

Marburg 1969

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Marburg
(Lehrstuhl I: Prof. Dr. med. J. W. Rohen)

Zur histologischen Struktur der Kehlkopfmuskulatur beim Menschen und einigen Säugern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades in der gesamten Medizin
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philippsuniversität Marburg an der Lahn

vorgelegt von

Reinhold Heckemann
aus Malsfeld

Marburg 1969

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen von der Medizinischen Fakultät der Philipps-Universität Marburg/ Lahn
am 30.1.1969

Dekan: Prof. Dr. med. Wolfgang Straub
Referent: Prof. Dr. med. Johannes W. Rohen
Correferent: Prof. Dr. med. Julius Berendes

Inhaltsübersicht

Seite

A. Einleitung 1

B. Material und Methodik 9

C. I. Untersuchungen über die Kehlkopfmuskulatur bei menschlichen Neugeborenen 11

1.) Das Vokalissystem 11
2.) Befunde an den übrigen Kehlkopfmuskeln beim Neugeborenen 13

II. Befunde über die Histologie der Kehlkopfmuskulatur bei einem siebenjährigen Kind 15

III. Befunde über die Histologie der Kehlkopfmuskulatur bei einem anderthalbjährigen Kind 17

IV. Histologie der Kehlkopfmuskulatur beim Erwachsenen 18

1.) Das Vokalissystem beim erwachsenen Menschen 18
2.) Der M. interarytaenoideus des erwachsenen Menschen 20

V. Zusammenfassende Gegenüberstellung der beim Erwachsenen, Neugeborenen und Siebenjährigen erhobenen Befunde 22

VI. Zur Histologie der Kehlkopfmuskulatur bei Primaten 24

1.) Das Vokalissystem bei Ateles ater 24
2.) Befunde an den übrigen inneren Kehlkopfmuskeln bei Ateles ater 25
3.) Das Vokalissystem beim Rhesusaffen 26
4.) Befunde an den übrigen Kehlkopfmuskeln beim Rhesusaffen 28
5.) Der Stimmbandmuskel beim Rind 29

D. Diskussion

1. Muskelfasergeflechte 31
2. Ringbinden der quergestreiften Muskulatur 33
3. Endkolben und Seitenknospen 34
4. Histochemische und biochemische Zusammenhänge 36

E. Zusammenfassung 38

Literatur 40

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534909_0034

A. EINLEITUNG

Im Mittelpunkt der meisten mikroskopisch-anatomischen Untersuchungen über die innere Kehlkopfmuskulatur steht seit Ludwig (1858) die Frage nach der räumlichen Struktur des M. vocalis und dessen Stimmbandinsertion. Demgegenüber liegen nur wenige Arbeiten über die feinere Histologie dieses Muskelsystems vor.

1.) Bisherige Beobachtungen über die Histologie des M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus externus beim Menschen.

Kaum einem Untersucher ist es entgangen, daß der M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus ext. aus einer Vielzahl von einheitlichen Faserbündeln, die untereinander durch abzweigende Nebenbündel in Verbindung stehen, zusammengesetzt ist. Nach Steinlechner (1898) und Schumacher (1925) sollen sich die Kehlkopfmuskeln histologisch von der Skelettmuskulatur nicht unterscheiden. Demgegenüber erhoben Henle (1866), Meyer (1897) und Leutert (1963) Befunde, nach denen die Bündel des M. vocalis zum Stimmband hin kleiner werden sollen. Im medialen Bereich werden die Muskelfasern dünner (Henle 1866, Rühlmann 1874, Kano 1910, Peter 1936). Der Muskelfaserverband wird stimmbandwärts auch stärker aufgelockert (Verson 1868). Nach Schimert (1934) existieren medial einige Faszikel, die im Gegensatz zu den lateralen, stark verflochtenen Bündeln leicht zu isolieren sind. Die stimmbandnahen Fasern sollen vom Ursprung bis zum Ansatz durchlaufen. Zwei Zentimeter lange Muskelfasern konnten frei präpariert werden. In den übrigen Teilen des M. vocalis erreichen die Fasern nicht die Länge des ganzen Muskels. Hier wurde eine große Zahl freier Faserendigungen gefunden. Zenker (1964) sah eine große Anzahl Muskelfasern in die Bindegewebsscheiden benachbarter Fasern einstrahlen.

Hinsichtlich des Muskelfasersehnenüberganges teilte Rühlmann (1874) mit, daß sich die im Stimmband inserierenden Fasern kegelförmig zuspitzen und einfach, fingerförmig oder zwei- und dreifach gegliedert enden. Nach Kano (1910) gehen die Muskelfasern am Ursprung in Sehnen über, letztere sind mit den lateralen Partien des Stimmbandes verwachsen. Sagittal gestellte, gegen den Schildknorpelwinkel zusammenlaufende Sehnenblätter dienen den Muskelfasern als Ansatz. Der laterale Teil des M. thyreoarytaenoideus verläuft gekrümmt; seine Endsehnen bilden bogenförmige Züge, die sich zum Teil mit denen der gegenüberliegenden Seite kreuzen sollen.

Zenker (1964) beschrieb verzweigte Systeme, wobei mehrere Fasern in eine Sehne übergehen. Kleinste Sehnen werden während des Muskelverlaufes als Seitenfüßchen abgegeben. Kurze Fasern sind mittels Zwischensehnen hintereinandergeschaltet. Eine ähnliche Angabe machte auch schon Nemai (1937).

Am Schildknorpel setzen die Fasern indirekt mit langen Sehnen an, am Aryknorpel mehr direkt und mit kurzen Sehnen. Es wurden Muskelfasern gesehen, die bis zu 800 u tief in Sehnen zu verfolgen waren. Umgekehrt sollen Sehnen auch tief in Muskelbündel hineinragen. Verson (1868) beschrieb auch Fasern innerhalb der Kehlkopfmuskeln - um welche es sich genauer handelt, wird nicht angegeben - die ohne Sehnen direkt ins Perichondrium übergehen. Er sah aber auch Endigungen mittels dünner Sehnen, in die teilweise Kerne eingelagert waren. Weiterhin berichtete Verson von Fasern mit gabeliger Zwei- und Dreiteilung. Kano (1910) und Leutert (1963) bestätigten das Vorkommen von Faserverzweigungen. Demgegenüber sah Meyer (1897) keine Anzeichen einer Verästelung. Schimert (1934) behauptete, daß die Fasern des M. vocalis niemals anastomosieren, ein solches Verhalten käme der Skelettmuskulatur nicht zu.

Entwicklungs- und Altersveränderungen des Vocalissystems wurden wie folgt beschrieben: Nach Meyer (1897) sind beim Foeten im 3. und 4. Monat die Muskelfasern nur im lateralen Teil der Stimmlippe angelegt, während der mediale Teil beim Neugeborenen noch muskellos ist. Dieser soll sich erst später im Zusammenhang mit der Funktion entwickeln. Der anfangs lateral liegende M. vocalis tritt erst im Alter zwischen 7 und 11 Jahren in das mediale Stimmbandgewebe ein (Pautow 1934). Nach der Darstellung von Konig und v. Leden (1961) sind die Fasern des M. vocalis im 7. und 8. Embryonalmonat noch nicht voll ausdifferenziert. Beim Neugeborenen findet sich die gleiche Gliederung in Muskelfaserbündel wie beim Erwachsenen (Peter 1936, Leutert 1963). Der Querschnitt einzelner Fasern des M. vocalis beträgt beim Neugeborenen durchschnittlich 10 u (Peter 1936). Er liegt nach Konig und v. Leden (1961) zwischen 8 und 15 u, nach Leutert (1936) zwischen 6 und 10 u. Es besteht eine nur lockere Verbindung aus präkollagenen Fasern zwischen Stimmbandbindegewebe und Muskulatur. Das interstitielle Bindegewebe ist sehr schwach entwickelt (Leutert 1963). Im Laufe des ersten Dezenniums wird die Verbindung der Muskelschicht mit dem Stimmbandgewebe durch sich

zwischen die Muskelfaserbündel einschiebende kollagene Fibrillen immer enger. Das interstitielle Bindegewebe nimmt zu (Leutert 1963). Nach Koyama (1952) ist das im Alter gut ausgebildete interstitielle und elastische Bindegewebe in der Jugend kaum vorhanden. Während der Wachstumsphase enthält das elastische Gewebe noch viele freie Zellen (Jordan und Klajman 1965). Der Faserquerschnitt des M. vocalis nimmt in den ersten Lebensjahren nur wenig zu, erreicht jedoch bis zur Pubertät einen Wert von 20 u (Peter 1936). Leutert (1963) gibt im ersten Lebensjahr eine Faserdicke zwischen 12 und 14 u an. Sie bewegt sich am Ende des ersten Dezenniums zwischen 20 und 30 u. Konig und v. Leden (1961) weisen darauf hin, daß das Faserkaliber schon vom dritten Lebensjahr an dem erwachsener Individuen weitgehend gleichen soll (Durchmesser zwischen 14 und 30 u). Nach Peter (1936) erfolgt während der Pubertät eine starke Zunahme des Faserdurchmessers. In Querschnitten sind die Muskelfasern in der Kindheit oval, später auch polygonal oder auch irregulär geformt (Koyama 1952). Die Muskelfaserdicke des M. vocalis beträgt beim Erwachsenen durchschnittlich 25 : 22 u (männlich: weiblich), die des M. thyreoarytaenoideus ext. 36 : 27 u (Peter 1936). Leutert (1963) gibt für die lateralen Muskelfasern Werte zwischen 30 und 40 u an, während die medialen 30 bis 50 u, aber auch 20 bis 25 u stark sind.

Imhofer (1913) fand in den ersten Lebensjahren pigmentfreie Muskelfasern. Vom 12. Lebensjahr an wird gelbliches Pigment zwischen Fibrillen und Sarkolemm eingelagert, das von diesem Alter an konstant in einzelnen Fasern auftritt. Ab dem 35. Lebensjahr erfolgt eine starke Zunahme des Pigmentes, im 9. Lebensjahrzehnt "beherrscht das Pigment das ganze mikroskopische Bild". Der Stimmbandmuskel männlicher Individuen ist pigmentreicher als der weiblicher. Der Farbstoff wird funktionell als "Abnutzungspigment" (Lubarsch 1902) gedeutet. Nach Leutert (1963) treten ebenfalls im 4. Dezennium Lipofuszinkörnchen in einzelnen Fasern auf. Jenseits des 70. Lebensjahres sind sie bandartig von Kern zu Kern ziehend in allen Muskelfasern nachweisbar. Auch Mitsuhashi (1926) und Segre (1936) erwähnen eine Pigmentzunahme im Alter.

Zwischen die einzelnen Muskelbündel des M. vocalis ziehen elastische Fasern des Stimmbandes und verbinden sich mit dem Perimysium (Wustrow 1952,

Minningerode 1963). Das elastische und kollagene Bindegewebe ist im Alter vermehrt (Pautow 1934, Segre 1936, Bach, Lederer und Dinolt 1941, Goerttler 1950, Koyama 1952 und Leutert 1963). Elastische Stränge trennen die Muskelfasern voneinander, die teils atrophiert sind und teils das Bild der fettigen Degeneration zeigen (Ricci 1936, Bach, Lederer und Dinolt 1941 und Leutert 1963). Der Verlust der Querstreifung einzelner Fasern wurde von Segre (1936), Bach, Lederer und Dinolt (1941) und Leutert (1963) erwähnt. Darüber hinaus wiesen Bach, Lederer und Dinolt (1941) auf das Vorkommen von vollkommen homogen gewordenen Fasern hin. Spindelförmige und sequesterartige Verfallsformen wurden nachgewiesen. Dieses Bild manifestierte sich nicht nur im Alter, es bot sich schon bei einem an Glomerulonephritis verstorbenen dreißigjährigen Individuum.

Imhofer (1913) fand Fettzellkomplexe im interstitiellen Bindegewebe des M. thryreoarytaenoideus ext., es soll im Alter vermehrt auftreten (Pautow 1934, Leutert 1963). Auf das Vorkommen von Drüsen innerhalb der Muskulatur des Vokalissystems machten Kanthack (1892, Bach, Lederer und Dinolt (1941) und Leutert (1963) aufmerksam. Muskelspindeln wurden von Konig und v. Leden (1961) in allen Altersklassen im M. vocalis gesehen. Sie weisen motorische und sensible Nervenendigungen auf (Terracol und Ardouin 1964). Goerttler (1950) erwähnt das zahlreiche Auftreten von Muskelspindeln im "Bereich des alten Sphincter". Nach Paulsen (1958) ist das Vorkommen von Spindeln inkonstant. Zenker (1963) fand Anhaltspunkte für deren Existenz während Galetti (1962) keine Muskelspindeln im M. vocalis ausmachen konnte.

Die umfangreichste Arbeit über die Histologie des M. vocalis stammt von Goerttler (1950). Er konnte Geflechte nach Art der Herzmuskulatur mit teils mittelständigen Kernen darstellen, die in den innersten Gebieten des M. vocalis, des M. interarytaenoideus und an den Ansatzstellen des Schild-, Ring- und Aryknorpels lokalisiert sind. Diese Strukturen wurden funktionell mit den quer zur Faserrichtung angreifenden Kräften bei der Stimmbildung in Zusammenhang gebracht, entsprechend früheren Befunden an der quergestreiften Muskulatur (Goerttler 1935). Der Autor beschreibt auch protoplasma- und kernreiche Faserauftreibungen, die mit Purkinjeschen Fasern verglichen werden. Auf ähnliche Strukturen wiesen später auch Konig und v. Leden (1961) sowie Konig (1963) hin. Leutert (1963) konnte sie nur in einem Sonderfall fin-

den. Manni (1960) beobachtete aufgrund elektronenoptischer Untersuchungen im M. vocalis einmal den Typ der Skelettmuskelfaser, zum anderen solche Fasern, die durch einen besonderen Mitochondrienreichtum charakterisiert sind. Auf das reichliche Vorkommen von Mitochondrien im M. vocalis wiesen Berendes und Vogell (1960) und Schmalbruch (1967) hin. Goerttler (1950) erwähnt weiterhin "Hohlfasern" und macht auf die Existenz quergestreifter Ringbinden aufmerksam. Ringbinden sind Fasern, deren periphere hyposarkolemmal gelegene Fibrillenbündel spiralig gewunden verlaufen. Daneben sollen auch Ringbinden existieren, die aus selbständigen Muskelfasern bestehen. Sehr dünne fibrillenarme Plasmodien sollen neben knotenartigem, dem Reizleitungssystem des Herzens vergleichbarem Gewebe vorhanden sein. Es wird betont, daß diese Sonderstrukturen an die Lokalisation des "alten Kehlkopfsphincter" gebunden sind, worunter Goerttler die schleimhautnahe Zone des M. vocalis einschließlich des inneren Anteiles des M. interarytaenoideus versteht. Der Verfasser glaubt, Anhaltspunkte dafür gefunden zu haben, daß sich dieser "alte Sphincter" zusammen mit der Herzmuskulatur aus dem Anlagematerial des visceralen Mesodermblattes entwickelt.

2.) Die Histologie der übrigen Kehlkopfmuskeln des Menschen

Verglichen mit dem Stimmbandmuskel liegen über die anderen inneren Kehlkopfmuskeln bisher nur wenige, histologische Mitteilungen vor.

a) Der M. interarytaenoideus

Außer Goerttlers oben erwähnten Hinweisen über den "alten Sphincter", der auch den M. interarytaenoideus miteinbezieht, hat Voss (1964) einen Fall (68-jährige, weibliche Pat.) beschrieben, bei dem sich im M. arytaenoideus transversus undifferenzierte, embryonale Muskelelemente mit fibrillenfreiem Sarkoplasma und zentral liegenden Kernen neben voll ausdifferenzierten Muskelfasern fanden. Der Autor gibt an, daß die Fasern der Innenseite des M. interarytaenoideus dünner als die der Außenseite sind, was für ein Wachstum des Muskels von innen nach außen sprechen soll. Goerttler (1960) deutete schon 1950 die von ihm in der Innenzone des M. interarytaenoideus beschriebenen Endkolben und Seitenknospen als myofibrilläre Endorgane, denen die Funktion von Mechanorezeptoren zukommen soll. Im Alter zeigen die Fasern eine Dickenzunahme des Sarkolemms und Vermehrung der elastischen Fasern (Segre 1936). Zwischen den Bündeln dieses Muskels sind Drüsen eingelagert (Kölliker 1902, Espinosa 1913).

b) Der M. cricoarytaenoideus posterior

Bei diesem Muskel erreicht nach Schimert (1934) die Länge der Fasern nie die der Faszikel. Die längsten Fasern sind 1,1 cm lang, bei einer durchschnittlichen Faserausdehnung von 6 - 7 mm. Häufig treten zugespitzte, freie Faserendigungen auf. Kurze spindelförmige Fasern, kaum fünfmal länger als breit, sollen stets nachweisbar sein. Spitz auslaufende, gegenüberliegende Faserendigungen treffen zusammen.

Die oben erwähnten, von Bach, Lederer und Dinolt (1941) am Alterskehlkopf beschriebenen degenerativen Erscheinungen sollen in den Abduktoren wesentlich ausgeprägter sein als in den Adduktoren, womit die Autoren eine histologische Stütze für das Rosenbach-Semonsche Gesetz gefunden zu haben glauben. Paulsen (1958) und Keene (1961) haben typische Muskelspindeln im Postikus nachgewiesen.

c) Der M. cricothyreoideus

Neuere, histologische Untersuchungen über den äusseren Sphincter sind bis auf Keenes (1961) Arbeit über dort lokalisierte neuromuskuläre Muskelspindeln, die Paulsen (1958) allerdings nicht auffinden konnte, unseres Wissens nicht gemacht worden.

3.) Die Kehlkopfmuskulatur der Säuger

Bisher wurde die innere Kehlkopfmuskulatur fast ausschließlich im makroskopischen Bereich unter besonderer Berücksichtigung der Ursprungs- und Ansatzverhältnisse untersucht. Es liegen lediglich vereinzelte Befunde über die feinere Struktur des Stimmbandmuskels vor.

Im Vordergrund der meisten Untersuchungen stand der Faserverlauf. Mehrere Autoren kamen bei den einzelnen Spezies zu unterschiedlichen Ergebnissen: Rühlmann (1874) konnte bei Hunden, Katzen, Kaninchen und Meerschweinchen keine Stimmbandinsertion des M. vocalis feststellen. Gleiches berichteten Franzmann (1907) vom Schwein und Wildschwein, Brandes (1932) vom Orang-Utan, Minningerode (1963) von Cercopitheciden und Platyrrhinen und Avril (1963) vom Schimpansen. Demgegenüber behauptete Simonetta (1929) bei allen Spezies würden Fasern des Stimmbandmuskels am Ligamentum vocale ansetzen. Nach Némai und Kelemen (1933) ist die obere Stimmlippe des Gibbon muskelfrei, jedoch strahlen einige Faserbündel in die vordere Kom-

missur ein, ähnliche Verhältnisse sollen beim Hund vorliegen (Eichler 1910). Mündrich (1937) beschrieb den Übergang von Muskelfasern in kollagenes Bindegewebe im vorderen Stimmbanddrittel des Kaninchens, gleiches weiß Roncallo (1939) vom Meerschweinchen zu berichten. Bei der Mehrzahl der Säuger existiert ein einheitlicher Stimmbandmuskel ohne Differenzierung in Muskelbündel. Lediglich bei Satyrus sollen dem menschlichen M. vocalis vergleichbare Strukturen vorliegen (Fürbringer 1875, Albrecht 1896).

Das Vokalissystem einiger Spezies teilt sich in zwei voneinander trennbare Abschnitte (Fürbringer 1875, Albrecht 1896). Ito (1959) konnte diese Befunde bei Hunden und Affen bestätigen, nicht aber bei Katzen. Nach Franzmann (1907) soll sich der Stimmbandmuskel des Wildschweines in radiär zum Ventrikeleingang verlaufende Lamellen gliedern. Némai und Kelemen (1933) weisen auf weitgehende Parallelfaserigkeit im M. vocalis des Gibbon hin. Gleiche Befunde erhoben Jordan und Klajman (1965) beim Rhesusaffen. Zum Stimmband hin sollen die Muskelfasern bei Hunden, Katzen, Kaninchen und Meerschweinchen feiner werden (Rühlmann 1874). Franzmann (1907) unterschied im Stimmuskel des Pferdes "bei geeigneter Behandlung" (genauere Angaben werden nicht gemacht) zwei Arten von Muskelfasern, die sich hinsichtlich der Menge und Anordnung ihrer Fibrillen voneinander trennen lassen. Diese Beobachtungen konnten von Eichler (1910) nicht bestätigt werden.

Drüsenkomplexe mit einem Durchmesser von 60 - 180 u sind in der Stimmbandmuskulatur des Schweines (Franzmann 1907) und der des Schafes (Eichler 1910) nachweisbar.

Der bisher ausführlichste Bericht über die Histologie der Kehlkopfmuskulatur eines Säugetieres stammt von Zenker und Anzenbacher (1962), die den M. thyrcoarytaenoideus des Rhesusaffen beschrieben: Der Muskel ist im Vergleich mit dem des Menschen einfach gebaut. Die Faserbündel sind von lockerem Bindegewebe umgeben und weisen eine gewisse Durchflechtung auf. Die einzelnen Fasern nehmen teilweise einen gegeneinander gedrehten Verlauf. Sie können von einem Bündel in ein anderes übergehen. Jede Faser erreicht die Länge des Muskels. Der Muskelfaserdurchmesser liegt zwischen 9 und 30 u mit einem Maximum bei 21 u.

Im mittleren Drittel des Muskels lassen sich je Muskelfaser zwei motorische Endplatten lokalisieren.

Aus der Literaturübersicht geht hervor, daß dem Vokalissystem im Vergleich zur übrigen Skelettmuskulatur histologisch eine differenziertere Struktur zuzukommen scheint. Die diesbezüglich interessantesten Befunde erhob Goerttler (1950), der bei der Untersuchung ausschließlich erwachsener Individuen im "alten Sphincter"-bereich Endkolben, Seitenknospen und Muskelnetze nachweisen konnte.

An diese Darstellungen anknüpfend haben wir uns in der vorliegenden Arbeit vor allem folgende Fragen gestellt:

a) Sind diese Sonderbildungen der Vokalismuskulatur konstant vorhanden?
b) Ist deren Auftreten altersbedingt?
c) Sind sie ausschließlich im Bereich des "alten Sphincters" lokalisiert?
d) Lassen sich diese Strukturen bei Säugern ebenfalls darstellen?
e) Welche funktionelle Bedeutung muß ihnen zugesprochen werden?

B. MATERIAL UND METHODE

ntersucht wurden 7 menschliche Kehlköpfe (2 Neugeborene, 1 eineinhalb ahre, 1 sieben Jahre, 1 vierundvierzig Jahre, 1 fünfundsechzig Jahre, dreiundsiebzig Jahre), 4 Kehlköpfe von Rhesusaffen, 1 Klammeraffe (Ateles ater), 1 Rind, 1 Kalb, 1 Schwein.

as menschliche Material stammte von Individuen, die im Pathologischen stitut seziert wurden, bei denen keine Kehlkopferkrankungen bekannt wa- en. Die tierischen Kehlköpfe wurden sofort nach der Tötung in toto fixiert, wozu, wie beim menschlichen Untersuchungsmaterial, teils 4 - 10 %iges Formol, teils Susa (Heidenhain) zur Verwendung kam. Nach 72-stündiger Fixierung wurde der M. thyreoarytaenoideus und M. vocalis der großen Kehlköpfe mit stark verkalkten Knorpeln (erwachsener Mensch, Rind, Schwein) zusammen mit der unversehrten Stimmlippe herausgelöst. Die übrigen, kleineren Kehlköpfe sind sagittal halbiert worden. Die vollständigen Hälften, die caudal noch den Ringknorpel enthielten, wurden cranial in der Mitte des Ventriculus laryngis horizontal durchschnitten und weiter bearbeitet. Das Material kam weitere 72 Stunden in 4 % igem Formol zur Nachfixierung. Nach 24-stündigem Auswaschen unter fließendem Wasser wurden die Präpa- rate in eine aufsteigende Alkoholreihe übertragen, jeweils 12 Stunden in 70-, 80-, 90-, 96- und zweimal 100%igen Alkohol. Bei der Entwässerung der Kehlkopfteile, die Knorpelelemente enthielten wurde die aufsteigende Alkoholreihe nach Einwirkung des 96 %igen Alkoholes unterbrochen. Nach 24-stündigem Wässern folgte bei ihnen eine Entkalkung mit 7,5 %iger Salpe- tersäure, der sich eine Behandlung mit 5 %igem Natriumsulfat anschloß (je- weils 24 Stunden). Die Präparate wurden danach ausgewaschen und erneut in eine aufsteigende Alkoholreihe gegeben. Nach Entkalkung und Entwässe- rung wurde der Alkohol mittels Methylbenzoat, zweimal in Abständen von 12 Stunden erneuert, und mittels Benzol entfernt. Die Objekte wurden für mehrere Stunden in Paraffin übertragen. Einige wurden auch über Zedern- holzöl eingebettet. Es erfolgte schließlich die Durchtränkung mit geschmol- zenem Paraffin bei 60 Grad in einem Wärmeschrank, insgesamt 36 Stunden lang bei zweimaliger Erneuerung der Flüssigkeit. Danach wurden die Prä- parate in Paraffin eingebettet.

Serienschnitte von 10 u Dicke wurden mit einem Mikrotom der Fa. Jung, Heidelberg, in horizontaler und sagittaler Schnittebene hergestellt.

Angewandte Färbungen: Eisenhämatoxylin nach Weigert, Eisenhämatoxylin nach Heidenhain, Trichromfärbung nach Masson-Goldner, Resorzinfuchsin nach Weigert, Bindegewebsfärbung nach van Gieson und Silberimprägnation nach Gömöri.

Die so behandelten Schnitte wurden im Mikroskop (Leitz, Labor-Lux) an Schnittserien sorgfältig durchgemustert und der Muskelfaserdurchmesser in Querschnitten mit Hilfe eines Okularmikrometers bestimmt. Für die quantitative Auswertung wurde eine 400 fache mikroskopische Vergrößerung gewählt. Die Fehlerbreite der Ablesegenauigkeit lag bei dieser Methode im Bereich von 4 %. Von jedem der untersuchten Muskeln wurden 100 Fasern ausgemessen. Die Werte sind in den Diagrammen der zugehörigen Kapitel zusammengefaßt.

C. 1. Untersuchungsergebnisse über die Kehlkopfmuskulatur bei menschlichen Neugeborenen

1. Das Vokalissystem (M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus ext.)

Beim Neugeborenen gliedert sich das Vokalissystem in sehr locker gelagerte Muskelbündel, die vor allem im mittleren Drittel des M. vocalis einen stark gekreuzten Verlauf zeigen (Abb. 1). Die Bündeleinheiten können durch abzweigende Fasergruppen miteinander in Verbindung stehen. Sie werden von lateral nach medial dünner und lösen sich in Stimmbandnähe in ungruppiert verlaufende Einzelfasern auf, die durch ein spärlich ausgebildetes, prä - kollagenes Bindegewebe getrennt werden. Im medialen Bereich des dorsalen und ventralen Muskeldrittels fanden sich einzelne Fasern und kleine Fasergruppen, die sich in scheinbar ungeordnetem Verlauf in Winkeln bis zu 90 Grad überkreuzen.

Innerhalb der Faserbündel können sich die Plasmodien durchflechten. Im M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus ext. bilden einzelne Fasern durch spitzwinklig abscherende Fibrillenstränge, die jeweils mit einer Nachbarfaser anastomosieren, netzförmige Strukturen. Dieses Verhalten ist in gewisser Weise der Herzmuskulatur vergleichbar. In den Insertionsbereichen des Ary- und Schildknorpels ist der syncytiale Charakter etwas stärker ausgeprägt. Einzelne Anastomosen werden während des gesamten Muskelverlaufes beobachtet. Die Form der Faserkommunikationen erscheint vielgestaltig: Der spitzwinklige Übergang eines Fibrillenstranges in eine benachbarte Faser kann eine N-förmige Gestalt haben. Dabei ist eine zweite Fibrillenabscherung im Abstand von wenigen u möglich. Von zwei Plasmodien wird an den benachbarten Seiten je ein Fibrillenbündel abgezweigt, letztere vereinigen sich zu einer neuen Fasereinheit (Abb. 2). Häufig treten Faseraufgabelungen in Erscheinung, dabei ist die Stammfaser doppelt so breit wie die Tochterfaser (Abb. 3). Diese ziehen unabhängig voneinander bis zur Insertion. Eine Aufzweigung dieser Art kann schon nach kurzem Verlauf in eine Sehne übergehen.

Nicht selten konnten wir Fasern sehen, deren Fibrillenbündel nicht streng parallel angeordnet sind, sondern sich zu überkreuzen scheinen. An den Überschneidungsstellen wird die Querstreifung der Fibrillenbündel und die der

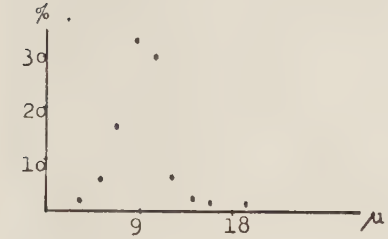
Gesamtfaser undeutlich. In anderen Fasern lockert sich der einheitliche Fibrillenverband unter zunehmender Sarkoplasmaeinlagerung auf. Endkolben und Seitenknospen konnten im Vokalissystem des Neugeborenen nicht nachgewiesen werden.

Die Muskelfaserdicke des M. vocalis unterscheidet sich deutlich von der des M. thyreoarytaenoideus ext. Sie zeigt gegenüber letzterer eine erhebliche Variationsbreite zwischen 3 und 20 u, bei einem Maximum um 10 u, während der größte Teil der Fasern des M. thyreoarytaenoideus ext. um 14 u breit ist (s. Diagramm).

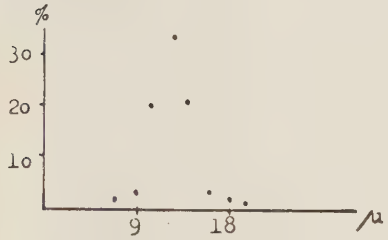
Die Muskelkerne sind oval, stäbchen- oder spindelförmig, axial am Faserrand angeordnet, selten mittelständig. Insgesamt ist die Muskulatur des Neugeborenen sehr kernreich bei gleichmässiger Kernverteilung.

Die Muskelfasern gehen am Ary- und Schildknorpel mittels kurzer Sehnen in das Perichondrium über. Sowohl das Sehnengewebe als auch das Perichondrium imponieren durch besonderen Kernreichtum. Jedes Plasmodium endet mit einer eigenen Sehne. Der Muskelfasersehnenübergang ist vielgestaltig: Am häufigsten setzt sich eine kegelförmig zugespitzte Muskelfaser in der zugehörigen Sehne fort. Periphere Muskelfibrillen einer Faser können schon in Sehnenfibrillen übergehen, während der zentrale Muskelfaseranteil spitz ausläuft. Das Muskelfaserende kann sich auch zylindrisch, trichterförmig und in fingerartig gestalteten Fibrillensträngen darstellen.

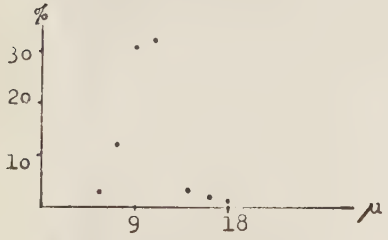
Muskelfaserdurchmesser von je 100 ausgemessenen Einzelfasern einiger innerer Kehlkopfmuskeln beim menschlichen Neugeborenen.



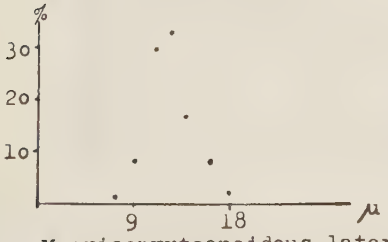
M.vocalis



M.thyreoarytaenoideus



M.interarytaenoideus



M.cricoarytaenoideus lateralis

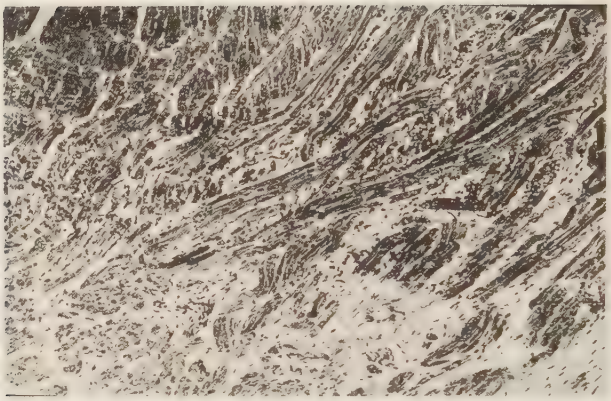


Abb. 1 Bündelartige Faserdurchflechtung im mittleren Drittel des M. vocalis. Menschliches Neugeborenes. Vergr. 40 fach, Färbung nach Goldner

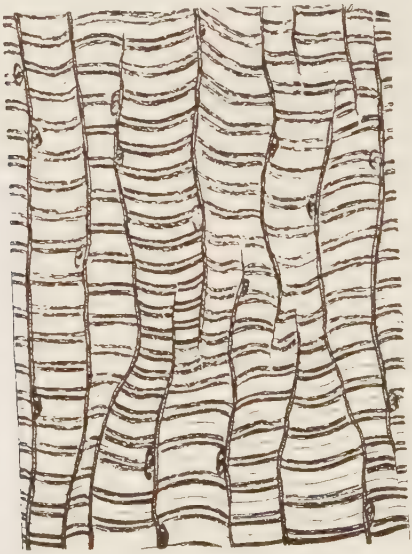


Abb. 2 Halbschematische Darstellung einer muskulären Syncytialstruktur im M. cricoarytaenoideus lateralis beim Neugeborenen.

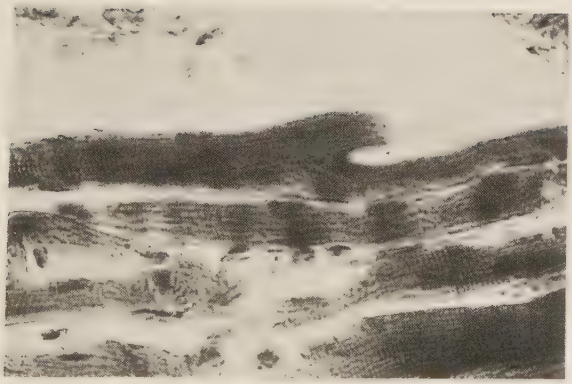


Abb. 3 Faseraufgabelung im M. thyreoarytaenoideus beim Neugeborenen.
Vergr. 240 fach, Färbung: Eisenhämatoxylin nach Heidenhain

2. Befunde an den übrigen Kehlkopfmuskeln beim Neugeborenen

Der M. cricoarytaenoideus lateralis ist durch eine ausgeprägte Syncytialstruktur seiner Muskelfasern gekennzeichnet. Die Annahme, daß es zu Anastomosen und nicht nur zu Durchflechtungen der Plasmodien kommt, wurde durch eine Sarkolemmdarstellung mittels Silberimprägnation wahrscheinlich gemacht. An den Stellen, wo Faserabzweigungen abscheren oder einstrahlen, ist eine deutliche Sarkolemmaussparung festzustellen. Die Teilfasern und abzweigenden Fibrillenbündel sind - unabhängig von ihrer Dicke - von einem Sarkolemmschlauch umgeben.

Im mittleren Drittel des Ursprungsfeldes des M. cricoarytaenoideus lateralis am Ringknorpel sind Fasern nachweisbar, an deren Ende sich das Sarkolemm kolbenartig ausbuchtet. Kurz vor der Sarkolemmausfaltung kommt es zur Auflockerung des kompakten Fibrillenlagers, periphere Fibrillenbündel scheinen sich zu überkreuzen. Beim Eintritt in die Ausbuchtung verlieren sich die vorwiegend hypolemmal verlaufenden Bündel in dem mit Sarkoplasma gefüllten Innenraum des Kolbens, in welchem ein großer, runder Kern (9 u Durchmesser) liegt. Diese Muskelstruktur erreicht die Länge von 36 u, bei einer Breite von 18 u. Dicht neben dem beschriebenen Endkolben befindet sich eine Faser, deren Sarkolemm sich über eine Strecke von 80 u einseitig ausbaucht, um sich dann wieder an das Fibrillenlager anzuschmiegen. Die begleitende Ausbuchtung hat die doppelte Faserbreite. Von dem geschlossenen Fibrillenverband scheinen Einzelbündel abzuscheren, um sich dem Sarkolemm zu nähern. Zwischen den in kurzen Abständen abzweigenden Fibrillenbündeln befinden sich hyposarkolemmal gelegene Kerne.

Im ventralen Ursprungsgebiet am Ringknorpel wurden Fasern gesehen, die tangential 160 u in das Perichondrium vordringen. Die Sehnenstränge lassen sich teilweise noch weiter verfolgen. Die Muskelfaserdicke bewegt sich zwischen 7 und 18 u mit einem Maximum um 13 u.

Im kaudalen Insertionsbereich des M. cricoarytaenoideus posterior liegen etwa 15 bis 20 um 90 Grad verschobene Muskelfasern am Aryknorpel. Sie lassen sich über mehrere Serienschnitte verfolgen. Es handelt sich dabei wahrscheinlich um ein kreuzendes Faserbündel aus dem M. cricoarytaenoideus lat. Ein 1,5 mm langer, am Stellknorpel 0,4 mm breiter Sehnenstrang

ragt dem M. crocoarytaenoideus post. kegelförmig entgegen. Ein ähnliches, kleineres Sehnenmassiv strahlt vom Perichondrium des Aryknorpels in den M. cricoarytaenoideus lat. ein, während das Ansatzgebiet des Vokalissystems eine solche Bildung nicht aufzuweisen vermag.

Fettgewebe konnte in der inneren Kehlkopfmuskulatur des Neugeborenen nicht gesehen werden.

Im M. interarytaenoideus ließen sich keine Endkolben und Seitenknospen ausmachen. Der Muskelfaserdurchmesser bewegt sich zwischen 6 und 18 u mit einem Maximum um 10 u (s. Diagramm).

II. Befunde über die Histologie der Kehlkopfmuskulatur bei einem siebenjährigen Kind

Das Vokalissystem

Der M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus des 7-Jährigen setzt sich aus kleinen Muskelbündeln zusammen, die durch spärlich ausgebildetes Bindegewebe getrennt werden. Die Verlaufsrichtung der Bündeleinheiten ist sehr uneinheitlich: die Bündel werden in einem histologischen Präparat in allen Schnittrichtungen vom Quer- bis zum Längsschnitt getroffen. Häufig treten die Bündelkollektive in enge Beziehung zu einander, sie überkreuzen und durchflechten sich, zweigen gelegentlich auch Fasergruppen ab, die dann in Nachbarbündel weiterlaufen. Zu den medialen Randgebieten hin wird die Bündelung feiner und ist vermehrt durch kollagenes Bindegewebe gegliedert. In den stimmbandnahen Muskelarealen findet man Fasern, die vereinzelt verlaufen, ohne einer Fasergruppe angeschlossen zu sein.

Innerhalb der Bündel weichen die Fasern oft von der parallelen Anordnung ab, umwinden sich und sind durch einen sich überschneidenden Verlauf zueinander gekennzeichnet. Häufig sind die Plasmodien durch anastomosierende Fibrillenstränge miteinander verbunden. Das Bauprinzip der Durchflechtung und Anastomosierung, durch welches die Bündelstrukturen gekennzeichnet sind, wiederholt sich hier in der kleineren Dimension, nämlich im Aufbau der Muskelfasern selbst.

Es wurden Plasmodien gefunden, bei denen sich die Fibrillenbündel innerhalb der Fasern in spitzen Winkeln überlagern. Sie behalten die Querstreifung bei, die an der gesamten Muskelfaser jedoch durch Fibrillenüberschneidungen nur noch schwer erkennbar ist.

Über das gesamte Muskelsystem verteilt sind Endkolben, Seitenknospen und protoplasmareiche Fasern ohne Sarkolemmausbuchtung aufzufinden; die Strukturen sind in den medialen Partien des mittleren Muskeldrittels vermehrt nachweisbar. Die Knospen erreichen eine Länge zwischen 7 und 130 u bei einer Breite zwischen 10 und 60 u. Sie enthalten granuliertes Protoplasma, in dem sich meist ovale, auch polyzyklische Kerne ausbreiten. Einige Kolben imponieren durch besonderen Kernreichtum (20 Kerne in einer

45 u langen und 18 u breiten Seitenknospe). Es sind Sarkolemmausbuchtungen erkennbar, in denen sich die Längsachse der Kerne quer zum Faserverlauf stellt (Abb. 4). Seitenknospen können eine Faser doppelseitig begleiten oder auch multipel an einer Seite auftreten (Abb. 5). Die Fibrillen der kolbig ausgebauchten Fasern zeigen keine Veränderung der Querstreifung, sie strahlen teilweise peripher oder zentral in die Endkolben ein, in denen sie mit den von uns angewandten Methoden nicht mehr weiter verfolgt werden können (Abb. 6 und 7). Es ließen sich Plasmodien ausmachen, die lediglich von einigen wenigen Fibrillenbündeln am Rand oder in der Fasermitte durchzogen werden. Es handelt sich dabei um plasmareiche Fasern, die nicht kolbig aufgetrieben sind, aber die Merkmale der Knospenstrukturen tragen: granuliertes Plasma und große, runde, unregelmäßig verteilte Kerne. Schließlich existieren Endknospen, die spitz auslaufen, ohne das Niveau des Faserdurchmessers zu überschreiten.

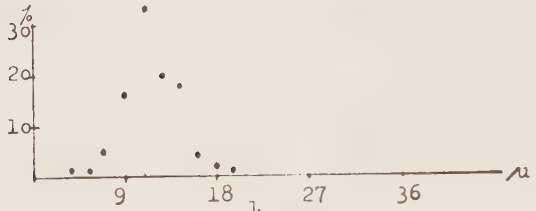
Hinsichtlich der Faserdicke läßt sich der M. vocalis des 7-jährigen Kindes zwischen 5 und 25 u bei einem Maximum um 14 u deutlich von der des M. thyreoarytaenoideus, die sich zwischen 11 und 37 u bewegt, unterscheiden (s. Diagramm). In Stimmbandnähe treten vereinzelt auch sehr dünne Fasern (5 u) auf.

Die Muskelkerne sind bei einer Länge zwischen 5 und 11 u vorwiegend oval gestaltet, sie liegen axial zum Fibrillenverlauf gerichtet unter dem Sarkolemm am Faserrand. In den plasmareichen Strukturen bekommen die Kerne eine rundliche Form.

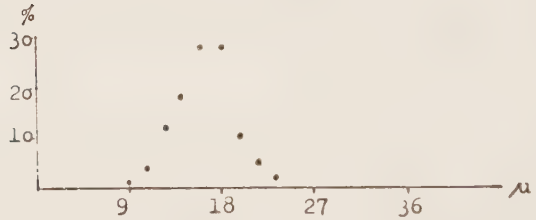
Die Muskelfasern setzen mit kurzen, aber auch bis zu 720 u langen Sehnen an oder gehen unvermittelt in das Perichondrium über. In der Vielfalt des Muskelfaser-Sehnen-Überganges besteht weitgehende Übereinstimmung mit den beim Neugeborenen geschilderten Verhältnissen.

Im kaudalen Bereich des Aryknorpels sind zwischen Muskelbündeln große Komplexe gemischter Drüsen eingelagert.

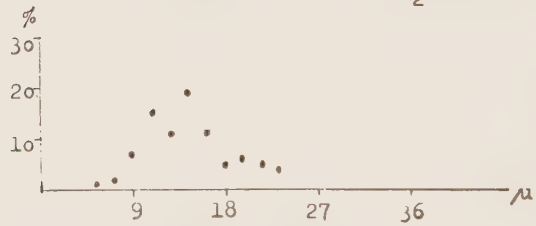
Muskelfaserdurchmesser von je 100 ausgemessenen Einzelfasern in der Stimmbandmuskulatur jugendlicher, menschlicher Individuen.



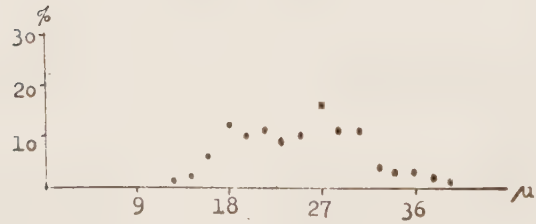
M.vocalis, Kind 1½ Jahre



M.thyreoarytaenoideus, Kind 1½ Jahre



M.vocalis, Kind 7 Jahre



M.thyreoarytaenoideus, Kind 7 Jahre

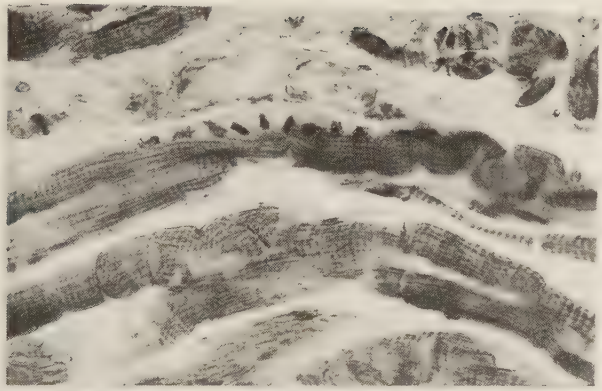


Abb. 4 Faser mit schmaler Seitenknospe, in der unregelmässig gestaltete Kerne sich mit ihrer Längsachse quer zum Faserverlauf lagern. Dorsales Drittel des M. vocalis, Kind, 7 Jahre, weibl.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

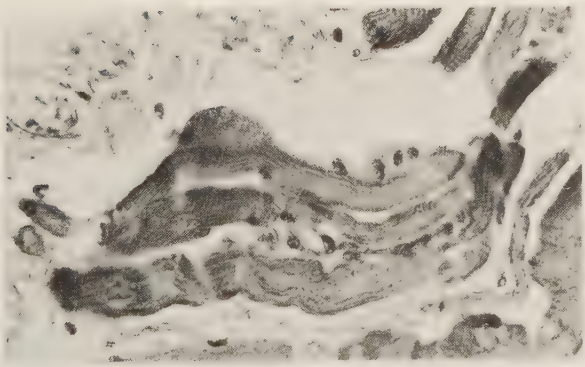


Abb. 5 An einer Faser stülpen sich mehrere Seitenknospen vor. Mittleres Drittel des M. vocalis medial. Kind, 7 Jahre, weibl.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

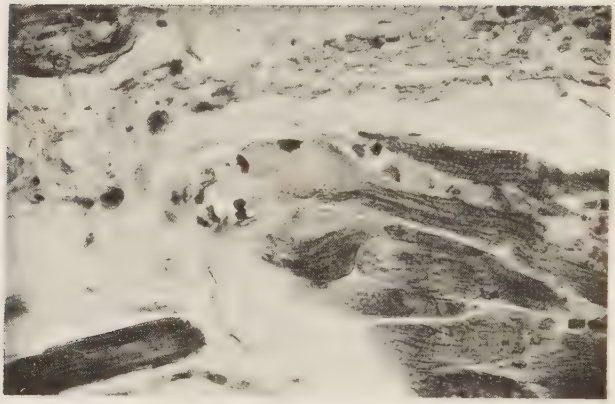


Abb. 6 Endkolben mit seitlich einstrahlenden Fibrillenbündeln; an der gleichen Faser ist eine Seitenknospe vorgeschaltet. Dorsales Drittel des M. vocalis medial. Kind, 7 Jahre, weibl.,
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

Abb. 7 Ausschnitt aus Abb. 7

III. Befunde über die Histologie der Kehlkopfmuskulatur bei einem anderthalbjährigen Kind

Die Befunde am Vokalissystem des 1 1/2-jährigen Kindes (weiblich) gleichen weitgehend denen, die wir beim Siebenjährigen erheben konnten. Bemerkenswert ist, daß Endkolben (Abb. 8) und Seitenknospen relativ häufig nachgewiesen werden konnten, jedoch nicht in der Häufigkeit wie beim älteren Kind auftreten. Der Faserdurchmesser des M. vocalis bewegt sich hier zwischen 3 und 20 u (Maximum um 11 u). Der M. thyreo - arytaenoideus ext. zeigt Faserdicken von 9 bis 26 u, die meisten Plasmodien sind etwa 17 u dick. Im kranialen Bereich des M. interarytaenoideus ließen sich verschiedentlich zu Gruppen angeordnete Seitenknospen auffinden (Abb. 9 und 10). Sonstige Strukturbesonderheiten ließen sich in unserem Material nicht nachweisen.

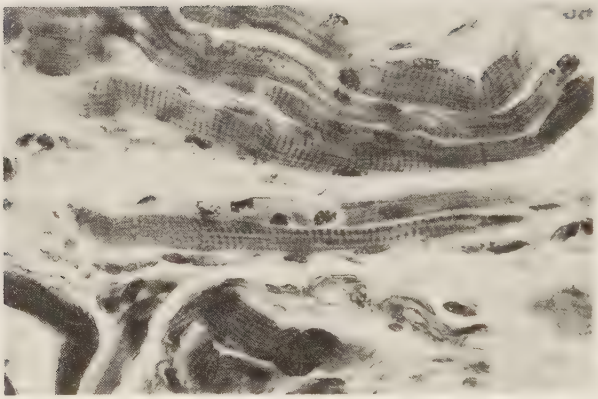


Abb. 8 Endkolben, der in der Breite nicht über das Faserniveau hinausgeht und drei große Kerne enthält. Mittleres Drittel des M. vocalis, Kind 1 1/2 Jahre. Vergr. 205 fach, Färbung nach Goldner

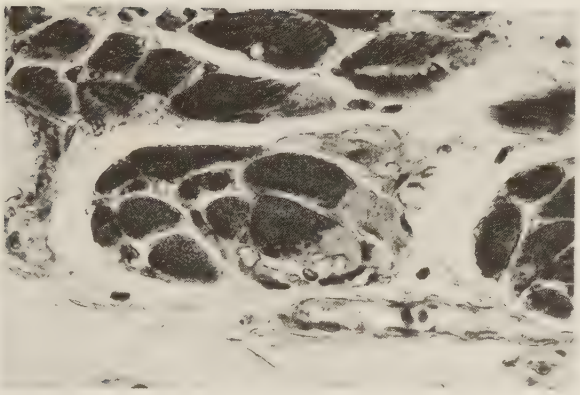


Abb. 9 Muskelfasern mit Seitenknospen im Querschnitt getroffen. Cranialer Bereich des M. interarytaenoideus, Kind 1 1/2 Jahre.
Vergr. 205 fach, Färbung nach Goldner

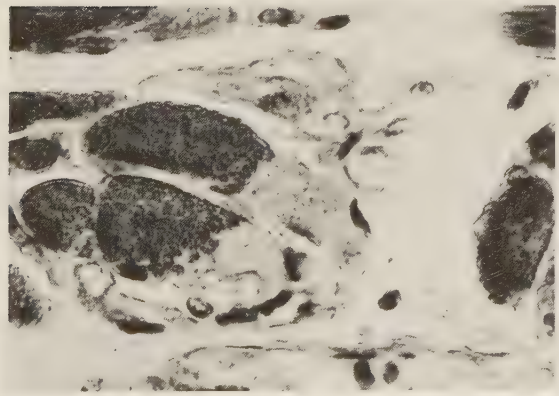


Abb. 10 Ausschnitt aus Abb. 9

IV. Histologie der Kehlkopfmuskulatur beim Erwachsenen

1. Das Vokalissystem (M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus) beim erwachsenen Menschen

M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus setzen sich aus Muskelbündeln zusammen, die sich in teilweise stark überkreuzendem Verlauf durchdringen und durchflechten. Abzweigende Fasergruppen gehen von einem Bündel in ein benachbartes über und stellen so einen engen strukturellen Zusammenhang der Bündeleinheiten untereinander her. Die medialen Bündelkomplexe sind wesentlich dünner als die lateralen. Sie enthalten teilweise nur einige Muskelfasern. Zum Kehlkopflumen hin lösen sich selbst die kleinen Fasergruppen auf. Einzelne solitär verlaufende Plasmodien lagern sich bis in das mediale Stimmbandgewebe und in den Conus elasticus hinein. Die Bündel selbst, wie die darin enthaltenen Fasern sind von einem stark ausgeprägten, zum Ligamentum vocale hin zunehmenden kollagenen Bindegewebe eingescheidet.

Neben Bündelungen mit locker gelagerten Fasern stellen sich solche mit dicht gedrängtem Faserverband dar. In Stimmbandnähe erscheinen vereinzelt gut abgegrenzte Fasergruppen, die ausschließlich von sehr dünnen Plasmodien gebildet werden.

Die Muskelfasern überschneiden und durchgreifen sich in einem allmählich torquierenden Verlauf. Sie treten - bevorzugt in kompakten Bündeleinheiten - durch Aufgabelungen und abscherende, anastomosierende Faserteile in enge Beziehung zueinander, indem sie ein Muskelfasersyncytium bilden (Abb. 11 und 12).

In der Nähe des Aryknorpels fallen im M. vocalis kleine Fasergruppen und Einzelfasern auf, deren Verlaufsrichtung gegenüber der der übrigen Bündel bis zu 90Grad verkehrt ist. Kurze, quer verlaufende Fasern kommen auf Abb. 13 zur Darstellung.

Nicht selten sind Plasmodien zu beobachten, deren Fibrillenbündel von der parallelen Lagerung abweichen und sich überkreuzen oder breitflächig durchflechten.

Über das ganze Vokalissystem verteilt, lassen sich Endkolben und Seitenknospen nachweisen. Sie sind vermehrt im Ansatzgebiet des M. vocalis am Aryknorpel zu finden. Neben kolbig aufgetriebenen Fasern, wie sie in Abb. 14 und 15 gezeigt werden, sind Plasmodien anzutreffen, die beidseitig von plasma- und kernreichen Randsäumen begleitet werden (Abb. 16 und 17). Auch konisch auslaufende Endknospen konnten nachgewiesen werden. Es fanden sich Knospen, die Längenunterschiede zwischen 12 und 330 u zeigten. Hinsichtlich der Breite ergaben sich Werte von 5 bis 54 u. Die Größendifferenzen allein weisen auf die mannigfaltigen Formen dieser Faseraus - stülpungen hin. Allen gemeinsam ist das Auftreten von granuliertem Protoplasma und großen, ovalen bis rundlichen, chromatinarmen Kernen, die sich unregelmässig verteilen. Bei älteren Individuen sind darüberhinaus braun gefärbte Pigmentkörner vorhanden.

Der Muskelfaserdurchmesser zeigt einen auffallend ausgedehnten Größen - bereich, der sich im M. vocalis zwischen 12 und 53 u bewegt, im M. thyreoarytaenoideus zwischen 18 und 63 u (s. Diagramm).

Die Muskelkerne sind vorwiegend oval gestaltet bei einer Länge zwischen 5 und 18 u, durchschnittlich um 9 u. Sie liegen in der Regel am Faserrand axial zum Fibrillenverlauf gerichtet. Nicht selten bilden sich in einem begrenzten Faserabschnitt haufenartige Kernansammlungen, die das Plasmodium in ganzer Breite überlagern. Die Kerne können sich auch in der Fasermitte zu Ketten und Doppelketten anordnen, die von Fibrillensträngen umzogen werden. Einzelne Seitenknospen und Endkolben sind vollkommen von kompakten Kernmassen ausgefüllt.

Im M. vocalis treten Zwischensehnen auf, die eine einzelne Faser unterbrechen. Eine gemeinsame Zwischensehne kann auch in mehrere nebeneinanderliegende Fasern eingeschaltet sein.

Was die Vielfalt des Muskelfaser-Sehnen-Überganges anbetrifft, so besteht eine weitgehende Übereinstimmung mit den beim Neugeborenen geschilderten Verhältnissen.

Abb. 11 Die oberen drei Fasern im Bild anastomosieren miteinander. Mittleres Drittel des M. vocalis in Stimmbandnähe. Mensch, 44 Jahre, männl.
Vergr. 134 fach, Färbung nach Goldner

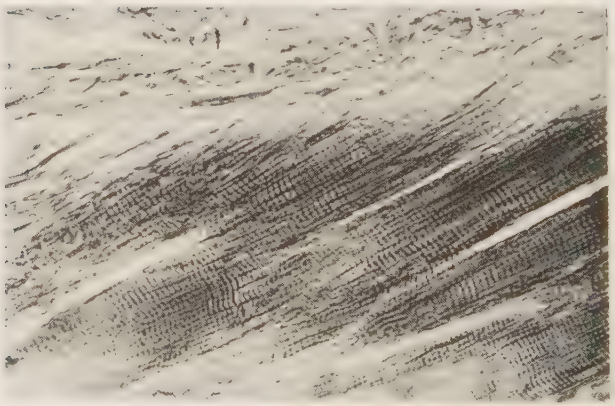


Abb. 12 Muskelfasernetze im mittleren Drittel des M. vocalis. Mensch 44 Jahre, männl.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner.

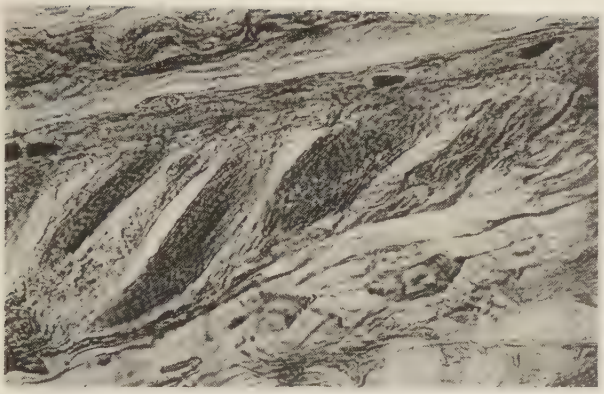


Abb. 13 Kurze quer zur allgemeinen Faserrichtung verlaufende Muskelfasern in der Nähe des Aryknorpels. Mensch 44 Jahre, männlich. Vergr. 216 fach, Ölimmersion, Färbung nach Goldner

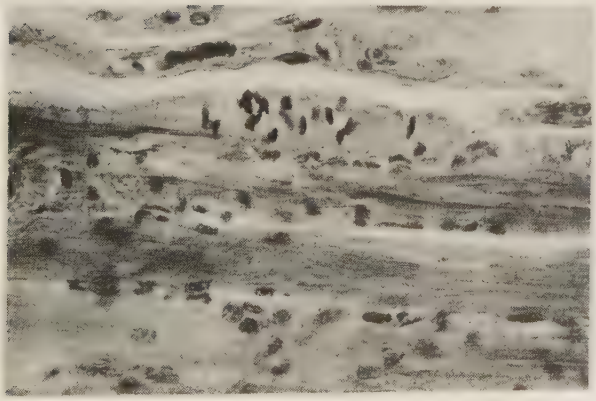


Abb. 14 Kernreicher protoplasmatischer Endkolben, in den einige Fibrillenbündel einstrahlen. Dorsales Drittel des M. vocalis. Mensch, 73 Jahre
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

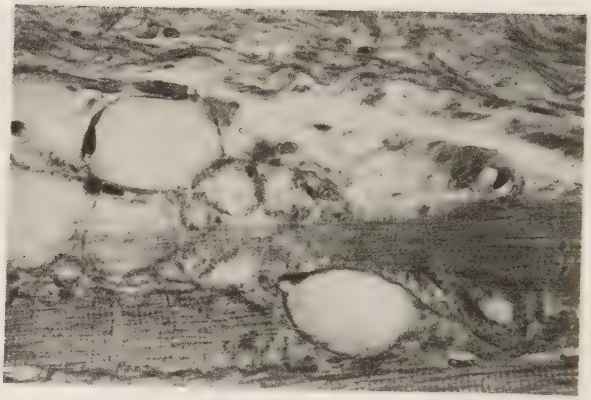


Abb. 15 Kleine Seitenknospe im mittleren Drittel des M. vocalis nahe dem Stimmband. Fettzellen sind deutlich erkennbar. Mensch, 44 Jahre, männl.
Vergr. 240 fach, Färbung nach Goldner

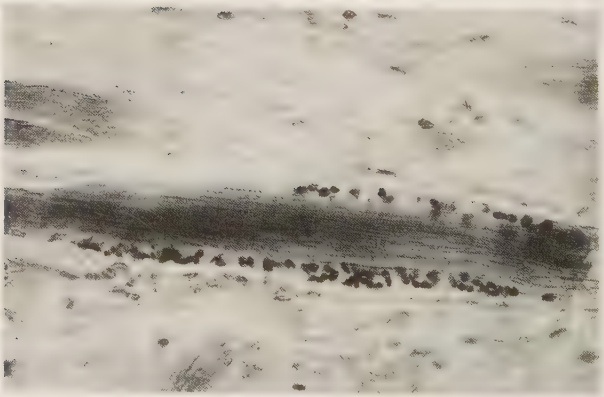


Abb. 16 Kernreiche protoplasmatische Seitenknospen beiderseits einer Muskelfaser im M. vocalis nahe dem Aryknorpel. Mensch, 73 Jahre, weiblich.
Vergr. 100 fach, Färbung nach Goldner

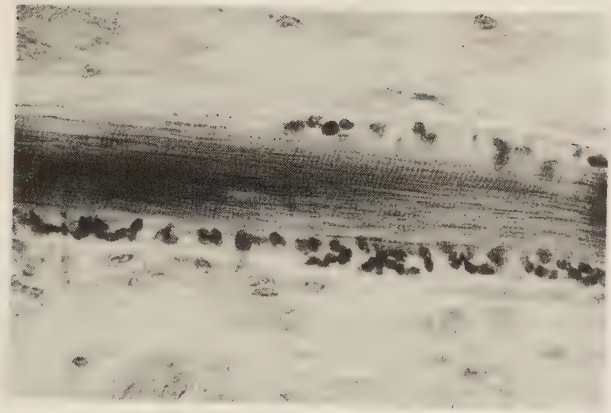


Abb. 17 Ausschnitt aus Abb. 16

Abb. 18 Fingerartiger Übergang der Muskelfibrillenbündel in kollagenes Sehnengewebe. M. vocalis, Mensch, 44 Jahre, männl.
Vergr. 160 fach, Ölimmersion, Färbung nach Goldner

Zwischen die Muskelbündel des M. vocalis sind in der Nähe des Aryknorpels größere Komplexe gemischter Drüsen eingelagert.

2. Der M. interarytaenoideus des erwachsenen Menschen

Der M. interarytaenoideus gliedert sich in Bündel, die aus zahlreichen, dicht gelagerten Muskelfasern bestehen. In der Übersicht betrachtet, bietet sich hier, verglichen mit den komplizierten Verhältnissen des M. vocalis, ein mehr einheitliches Bild: die Faserbündel stellen vorwiegend grobe Muskelstränge mit gleichgerichtetem Verlauf dar, wobei die Fasergruppe eines Bündels in einer gemeinsamen Sehne endet. Kleine, aus nur wenigen Fasern bestehende Bündeleinheiten erreichen teilweise nicht die Länge des ganzen Muskels, sondern befestigen sich spitz in eine Sehne auslaufend am interstitiellen Bindegewebe. Vom äußeren Muskelanteil nach innen, zum Kehlkopflumen hin wird die Bündelung feiner, in Schleimhautnähe lösen sich die Gruppierungen auf, die Fasern verlaufen in lockeres Bindegewebe eingelagert individuell und selbständig.

Einzelne Faserstränge treten untereinander in enge Beziehung, indem sie sich in einem allmählich torquierenden Verlauf umwinden und dabei Bündelteile abzweigen, die mit einem benachbarten Faserkollektiv anastomosieren. Ein prinzipiell gleiches Verhalten zeigt die Anordnung der Muskelfasern innerhalb eines Faserbündels: die Plasmodien durchflechten sich, teilen sich auf und scheren anastomosierende Fibrillenstränge ab. Es bietet sich das Bild eines nach dem System des Raumnetzes aufgebauten Muskels.

Besonders auffällig ist das Auftreten von Muskelfasern, deren Fibrillenbündel die parallele Lagerung durchbrechen und einen spiralig gewundenen Verlauf annehmen. Innerhalb einer Faser findet man Spiralbündel mit linker und rechter Torsionsrichtung vor, so daß das Plasmodium als zopfartige Struktur imponiert (Abb. 19). In anderen Muskelfasern gestalten sich die überkreuzenden Fibrillenbündel zu scherengitterartigen Anordnungen. Eindrucksvolle Bilder gewähren die Fasern, deren periphere, hyposarkolemmal gelegene Fibrillen ringförmige Schraubentouren beschreiben, während ein zentraler Fibrillenstamm die Faserrichtung beibehält (Ringbinden) (Abb. 20

und 21). Es ließen sich Ringbinden bis zu einer Länge von 900 u verfolgen. Die Muskelfasern mit verändertem Fibrillenverlauf sind fast ausschließlich in den schleimhautnahen Partien des mittleren Muskeldrittels zu lokalisieren und werden hier gebietsweise gehäuft aufgefunden.

Der M. interarytaenoideus ist durch das massenhafte Vorkommen von Seitenknospen und Endkolben gekennzeichnet. Diese Strukturen verteilen sich über den ganzen Muskel, sind jedoch in Lumennähe des mittleren Muskeldrittels vermehrt nachweisbar. Die mit granuliertem Protoplasma und großen, runden, chromatinarmen Kernen angefüllten Sarkolemmausstülpungen zeigen Längendifferenzen zwischen 10 und 415 u, während die Breite das Maß von 50 u selten überschreitet (Abb. 22). Die Muskelknospen älterer Individuen enthalten braune Pigmentkörner.

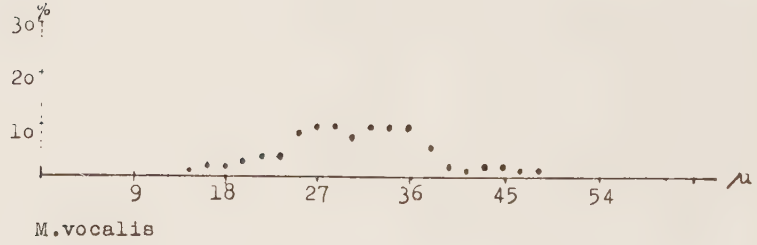
Der Muskelfaserdurchmesser bewegt sich zwischen 9 und 45 u (s. Diagramm). Eine schmale, innere Faserschicht besteht vorwiegend aus dünnen Plasmodien, eine breite Außenschicht setzt sich aus dicken Fasern zusammen.

Die Muskelkerne weisen eine Länge zwischen 5 und 15 u auf, haben eine vorwiegend ovale, auch zylindrische Form, sind hyposarkolemmal gelagert und axial zum Faserverlauf gerichtet. Die Kerne der Ringbinden schieben sich unter dem Sarkolemm liegend zwischen die Fibrillenspiralen; sie haben wie die Kerne der Muskelknospen eine runde Gestalt mit einem Durchmesser, der etwa um 7 u liegt.

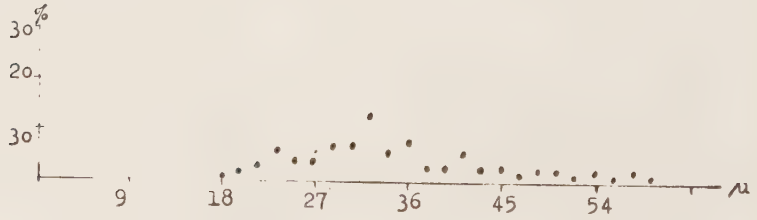
Im mittleren Drittel des Muskels treten eigenartige Kernverhältnisse auf: am Faserrand drängen sich unter leichter Ausbuchtung des Sarkolemms Gruppen von 10 bis 30 rundlichen Kernen zu Kernketten oder dicht gereihten Doppelketten zusammen. Auch massive Kernhaufen am Faserende wurden beobachtet (Abb. 23).

Ähnlich wie im M. vocalis werden im M. interarytaenoideus Zwischensehnen gefunden. Es existieren Zwischensehnen, die in eine einzelne Faser eingeschaltet sind, aber auch solche, die ein ganzes Faserbündel unterbrechen. Letztere konnten nur im M. interarytaenoideus nachgewiesen werden. Die Muskelfaserbündel sind von mäßig ausgeprägtem kollagenen Bindegewebe durchsetzt. Zwischen die äußeren Muskellagen sind bis zu 2 cm lange ovale Drüsenkomplexe eingelagert, die sich aus gemischten Drüsen zusammensetzen.

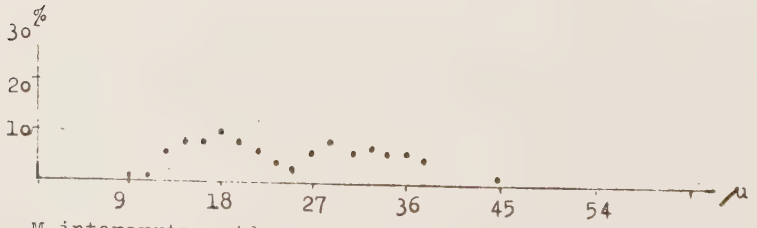
Muskelfaserdurchmesser von je 100 ausgemessenen Einzelfasern einiger innerer Kehlkopfmuskeln beim Erwachsenen (44 Jahre, männlich).



M.vocalis



M.thyreoarytaenoideus



M.interarytaenoideus

Abb. 19 Zopfartige Fibrillenstruktur der mittleren Faser, mittleres Drittel des M. interarytaenoideus, Mensch,73 Jahre, weibl.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

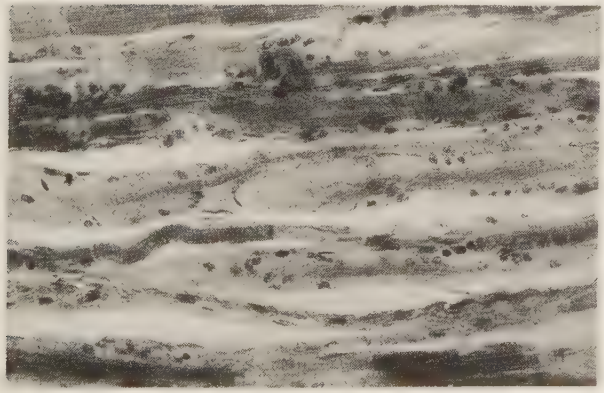


Abb. 20 Quergestreifte Ringbinden im M. interarytaenoideus, mittleres Drittel. Mensch, 73 Jahre, weibl.
Vergr. 100 fach, Färbung nach Goldner

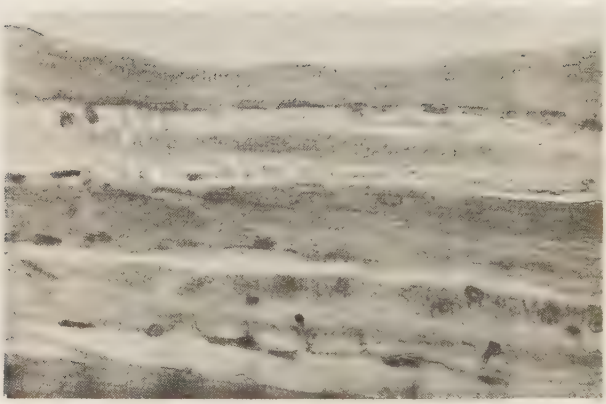


Abb. 21 Quergestreifte Ringbinde. Mittleres Drittel des M. interarytaenoideus. Mensch, 73 Jahre, weibl.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

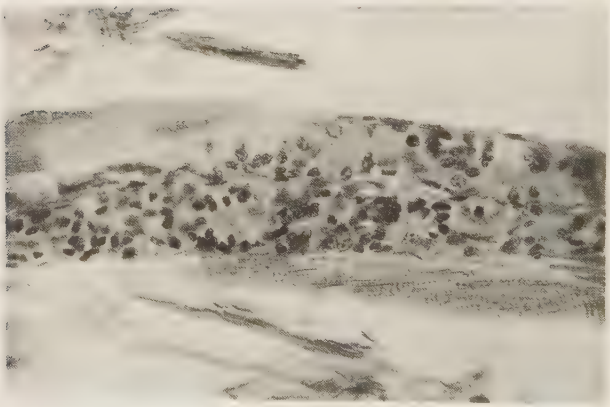


Abb. 22 Ausschnitt aus einem 415 u langen Endkolben in Nähe des Aryknorpels, M. interarytaenoideus, Mensch, 73 Jahre; Pigmentkörner dunkel.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

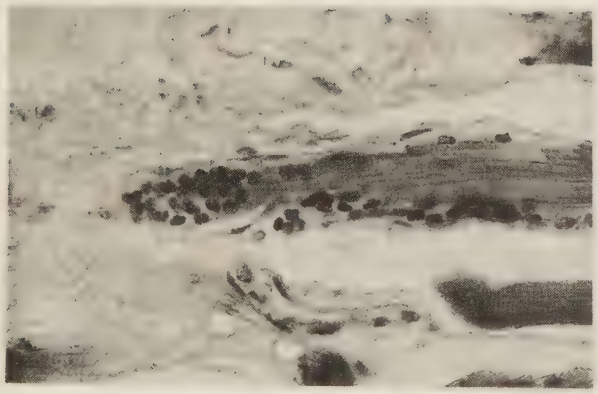


Abb. 23 Massive Kernanhäufung am Ende einer Muskel - faser, mittleres Drittel des M. interarytaenoideus, Mensch, 73 Jahre, weibl.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

V. Zusammenfassende Gegenüberstellung der beim Neugeborenen, Siebenjährigen und Erwachsenen erhobenen Befunde:

Die sarkoplasma- und kernhaltigen Endkolben und Seitenknospen ließen sich im Vokalissystem des Neugeborenen noch nicht nachweisen. Dagegen fanden sie sich nicht selten in der Stimmbandmuskulatur des Eineinhalbjährigen, während sie beim 7-jährigen Kind häufig und ausgeprägt in Erscheinung treten, vergleichbar den Verhältnissen beim Erwachsenen. Unterschiede bestehen lediglich in der Größenausdehnung der Knospenstrukturen, die beim Siebenjährigen etwa ein Drittel des Umfanges der des Erwachsenen ausmachen. Beim Kind fallen solche Sarkoplasmastrukturen vermehrt auf, die als Endkolben die Breite der vorgeschalteten Faser nicht überschreiten oder als Sarkoplasmahöfe seitlich in eine Muskelfaser eingelagert sind, ohne daß sich das Sarkolemm als "Seitenknospe" ausbuchtet.

Beim Neugeborenen konnten in den übrigen inneren Kehlkopfmuskeln nur einmal eine Seitenknospe und ein Endkolben gesehen werden und zwar im M. cricoarytaenoideus lat. Beim Kind und Erwachsenen wurde dieser Muskel nicht untersucht, wohl aber der M. interarytaenoideus, bei dem sich im Gegensatz zum Neugeborenen ausgedehnte Knospenareale vorfanden.

Die Muskelfasern der jugendlichen Individuen sind wesentlich kernreicher als die der Erwachsenen. Die Kerngröße ist in Relation zur Faserausdehnung beim Kind wesentlich umfangreicher. Die beschriebenen Kernhaufen und Kernketten treten lediglich bei älteren Individuen in Erscheinung.

Einen kurzen Überblick hinsichtlich der Zunahme des Muskelfaserdurchmesse genauere Daten sind den ausführlichen Diagrammen zu entnehmen - gibt folgende Zusammenfassung:

	Neugeborenes	Kind 1 1/2 Jahre	Kind 7 Jahre	Erwachsener
M. vocalis	7 - 11 u	9 - 15 u	9 - 18 u	25 - 36 u
M. thyreoarytaenoideus ext.	10 - 15 u	12 - 20 u	18 - 31 u	29 - 43 u

Die Muskelfaserbündel erscheinen im histologischen Schnitt bei Neugeborenen und Kindern häufig gewellt, was im Vokalissystem stärker ausgeprägt ist als in den übrigen Muskeln. Der M. vocalis wird bei Kindern vom Stimmbandgewebe meist scharf getrennt, während bei Erwachsenen einzelne medial verlagerte, dünne Muskelfasern zu sehen sind, die sich in das Ligamentum vocale einlagern. Auffallend dünne Plasmodien, die dicht gedrängt in einem Muskelbündel zusammengefaßt sind, scheinen nur bei älteren Individuen vorzukommen.

Beim Neugeborenen ist das interstitielle, praekollagene Bindegewebe spärlich ausgebildet. Es vermehrt sich bis zum Alter von 7 Jahren nur langsam. Im Alter dringen nicht nur zwischen sondern auch in die Bündel ausgedehnte, kollagene Bindegewebsscheiden ein, die im medialen Bereich des M. vocalis noch massiver in Erscheinung treten als in den übrigen Muskelabschnitten.

VI. Zur Histologie der Kehlkopfmuskulatur bei Primaten

1.) Das Vokalissystem (M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus) bei Ateles ater

M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus stellen bei diesem südamerikanischen Affen im Gegensatz zum Menschen eine kompakte Muskelmasse dar. Die Bündel, in denen die Muskelfasern dicht zusammenliegend ein engmaschiges Netz bilden, sind lediglich durch feine Bindegewebssepten getrennt. Zwei Bündeleinheiten können zu einer zusammenfließen oder durch eine anastomosierende Fasergruppe in Verbindung stehen. Ein überkreuzender und verwundener Verlauf von einzelnen Faserbündeln ist an gut orientierenden Präparaten angedeutet erkennbar.

Verfolgt man nebeneinander liegende Fasern über weitere Strecken, so sieht man, daß sie vom Prinzip einer streng parallelen Anordnung abweichen, indem ein Plasmodium das andere unterlagert und sich dann im Schnitt verliert. In der Regel treten die Fasern schon vorher durch anastomosierende Abzweigungen zueinander in Beziehung. Die Syncytialbildung nimmt von lateral nach medial stärkere Ausmaße an. Häufig erscheinen Fasern mit einem ungeordneten Fibrillenverlauf, der von der gewohnten parallelen Anordnung abweicht, indem sich die Fibrillenbündel überkreuzen und überschneiden.

Über das gesamte Vokalissystem verteilt lassen sich Endkolben und Seitenknospen nachweisen, die sich in den Ursprungs- und Ansatzgebieten leicht vermehrt auffinden lassen. Kurz vor der Insertion des Stimmbandmuskels am Aryknorpel fällt eine deutliche Kernvermehrung der Muskelfaserenden auf. Dicht gelagerte Kernanhäufungen können das Sarkolemm ausbauchen und den gesamten terminalen Faserbezirk erfüllen (Abb. 24).

Hinsichtlich des Faserdurchmessers ist eine deutliche Differenz zwischen den Werten des M. vocalis und denen des M. thyreoarytaenoideus ext. festzustellen (s. Diagramm).

Die Kerne sind vorwiegend oval geformt; runde, zylindrische und spindelförmige Kerne kommen vor. Die Länge liegt zwischen 7 und 16 u bei einem Breitenintervall von 2 bis 9 u. Die Kerne sind randständig, sie können auch bisweilen im Fibrillenverband eingelagert gefunden werden. Die Muskelfasern heften sich konisch zulaufend unvermittelt am Perichondrium des Aryknorpels an.

2.) Befunde an den übrigen inneren Kehlkopfmuskeln bei Ateles ater

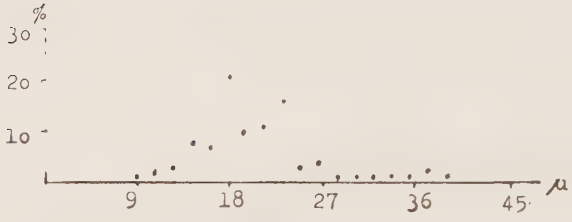
Der M. interarytaenoideus zeigt - den Verhältnissen beim Rhesusaffen vergleichbar - eine schmale äußere Muskelschicht aus dicken Fasern bestehend und eine breite innere Schicht, die sich aus dünnen Fasern zusammensetzt. Es ließen sich Muskelknospen im kaudal-dorsalen Bereich lokalisieren (Abb. 25). Die Faserdicke bewegt sich zwischen 9 und 42 u bei einem Maximum um 18 u (s. Diagramm).

Der M. cricoarytaenoideus lateralis ist in seinen Randbezirken durch eine außerordentliche Reichhaltigkeit an muskulären Knospen- und Kolbenstrukturen gekennzeichnet. Sie konzentrieren sich in der äußeren, ventralen Faserschicht im Ursprungsgebiet am Ringknorpel (Abb. 26). Die Knospen sind vorwiegend kernhaltig, von ringartig angeordneten Fibrillenstrukturen durchzogen, bald von homogenem, bald von grob oder fein granuliertem Protoplasma ausgefüllt. Die Länge der Faserausstülpungen schwankt zwischen 27 und 72 u, bei Breitendifferenzen von 12 bis 27 u.

Die Muskelfasern des M. cricoarytaenoideus lat. sind durch ausgeprägte Anastomosen miteinander vernetzt. Das Faserkaliber reicht von 13 bis 50 u, Werte zwischen 20 und 30 u werden am häufigsten angetroffen. Am Ring- und Aryknorpel gehen die Plasmodien meist konisch zulaufend direkt in das Perichondrium über. Am ventralen Rand des Lateralis können bisweilen mehrere Fasern in ein gemeinsames Sehnenmassiv einmünden, das wiederum mit dem Perichondrium des Ringknorpels in Verbindung tritt (Abb. 27).

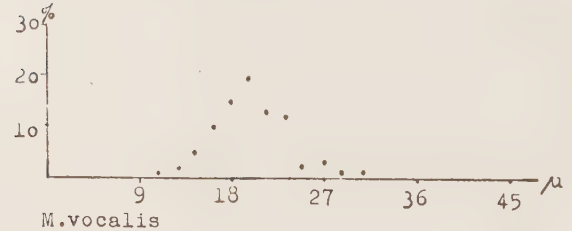
Auch im Ursprungsgebiet des M. cricothyreoideus konnten ausgedehnte Areale von Seitenknospen und Endkolben ausgemacht werden (Abb. 28).

Muskelfaserdurchmesser von je 1oo ausgemessenen Einzelfasern einiger innerer Kehlkopfmuskeln beim Klammeraffen (ateles ater).

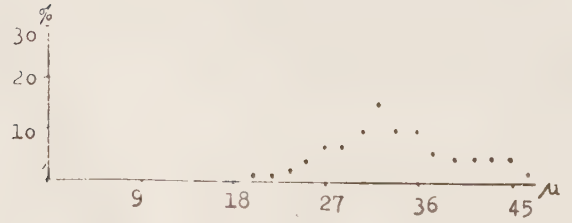


M.interarytaenoideus

M.cricoarytaenoideus lateralis



M.vocalis



M.thyreoarytaenoideus

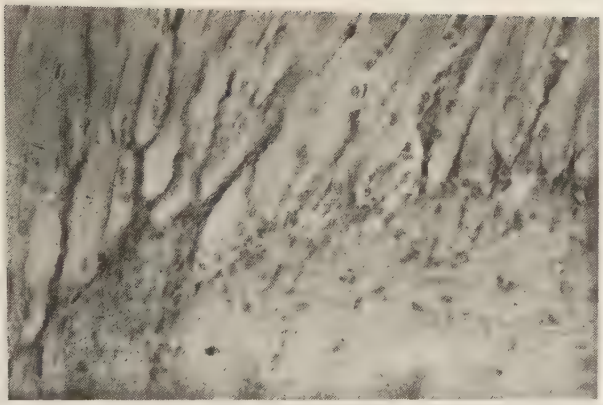


Abb. 24 Kernreiche Faserendigungen im Ansatzgebiet des M. thyreoarytaenoideus am Aryknorpel.
Ateles ater.
Vergr. 100 fach, Färbung nach Goldner

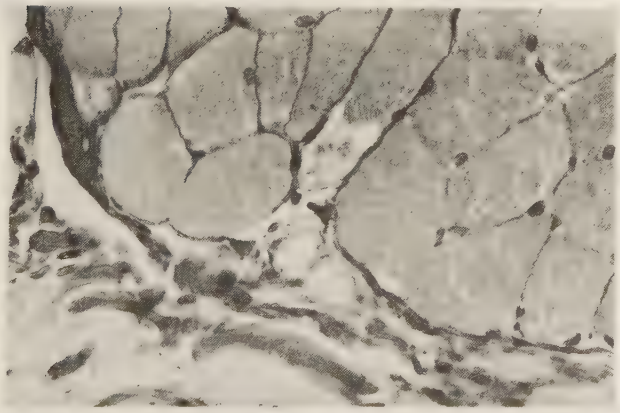


Abb. 25 Seitenknospe mit zwei Kernen im dorsalen Bereich des M. interarytaenoideus.
Ateles ater.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

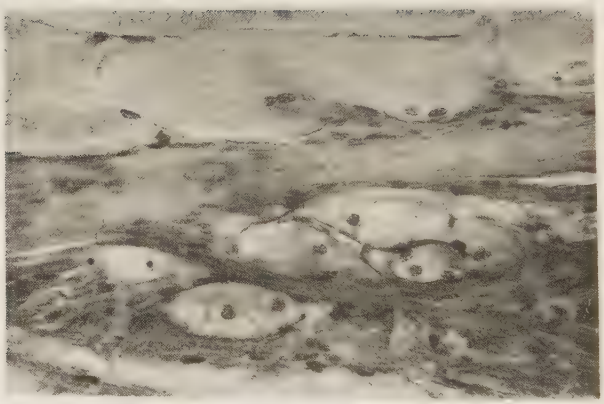


Abb. 26 Plasmareiche Seitenknospen im ventralen Anteil des M. cricoarytaenoideus lat.
Ateles ater.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

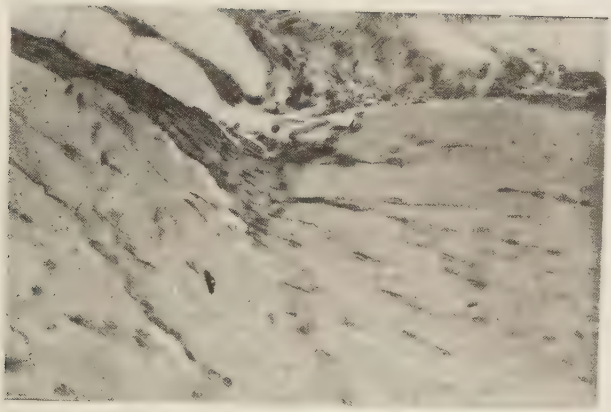


Abb. 27 Mehrere Muskelfasern strahlen in eine gemeinsame Endsehne ein. Ventraler Randbezirk des M. cricoarytaenoideus lat.
Ateles ater.
Vergr. 100 fach, Färbung nach Goldner

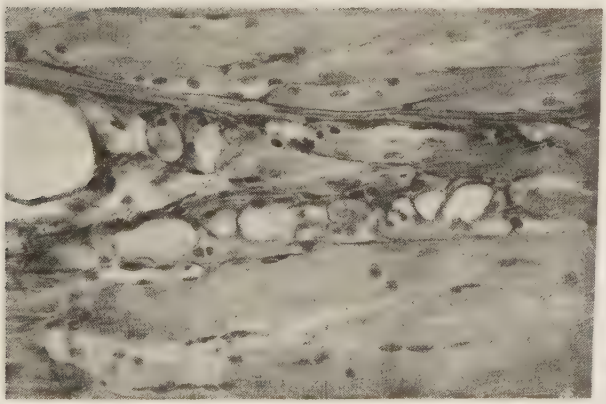


Abb. 28 Längs getroffenes Areal von Seitenknospen und Endkolben im M. cricothyreoideus.
Ateles ater.
Vergr. 100 fach, Färbung nach Goldner

3. Das Vokalissystem (M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus ext.) beim Rhesusaffen (Macaca mulatta).

Das Muskelsystem setzt sich beim Rhesusaffen aus Bündeleinheiten zusammen, die im M. thyreoarytaenoideus ext. im Ganzen sehr dicht gelagert sind. Zu den stimmbandnahen Gebieten des M. vocalis hin werden die Fasergruppierungen feiner und lockern sich zunehmend auf. Am medialen Muskelrand lassen sich solitär verlaufende, durch wenig ausgeprägtes, kollagenes Bindegewebe getrennte Plasmodien auffinden (Abb. 29). Die Bündel nehmen einen umeinander gedrehten Verlauf und stehen durch kommunizierende Fasergruppen in Verbindung. Netzartige Anastomosen der Muskelfasern sind in den dicht gelagerten lateralen Bündelgruppen häufiger als in den medialen Gebieten nachweisbar. Der syncytiale Faseraufbau ist im Vokalissystem des Rhesusaffen nicht so stark ausgeprägt wie in dem des Klammeraffen.

Einzelne Muskelfasern überkreuzen sich und können sich in einem allmählich drehenden Verlauf umwinden. Häufig erscheinen Fasern, die sich überschneidende Fibrillenbündel enthalten.

Im Ursprungsfeld des M. vocalis kommt es bei einer großen Anzahl von Muskelfasern zu einer Auflockerung und Rarefizierung der Fibrillenbündel. Dabei bauchen sich die Plasmodien unter Plasmazunahme gering nach einer Seite aus. Ein einzelnes Fibrillenbündel kann aus dem Verband abscheren und subsarkolemmal verlaufend einen kleinen Plasmahof einschließen. Die Fasern treten konisch zulaufend mit dem Sehnenmassiv des Schildknorpelfaserwulstes in Verbindung. Fast jedes Plasmodium zeigt nach seinem Ursprung eine plasmatische Anreicherung von granuliertem Aussehen. Diese knospenartigen Strukturen unterscheiden sich von den bisher beschriebenen durch ihre geringe Ausdehnung. Sie sind etwa 20 u lang und 7 u breit. Größere - mit Werten von 40 u Länge und 20 u Breite - jedoch sind auch sehr vereinzelt vorhanden und kommen hauptsächlich im Insertionsbereich am Aryknorpel vor.

Hinsichtlich des Muskelfaserdurchmessers kann man beim Rhesusaffen einen M. vocalis mit einer Faserdicke zwischen 9 und 24 u von einem M. thyreoarytaenoideus abgrenzen, dessen Faserausdehnung von 14 bis 33 u reicht (s. Diagramm). Es muß betont werden, daß die absoluten Faserdicken bei den verschiedenen untersuchten Individuen erheblich variieren, was wahr -

scheinlich auf den Altersunterschied der Tiere zurückzuführen ist. Die Werte der hier aufgestellten Tabellen stammen von einem juvenilen Rhesusaffen.

Die Kerne sind vorwiegend spindelförmig, zwischen 5 und 15 u lang, durchschnittlich 9 u und etwa 2 bis 4 u breit. Sie sind axial zur Fibrillenrichtung am Faserrand gelagert, vereinzelt mittelständig.

Der Muskelfaser-Sehnenübergang findet isoliert individuell statt: Jede Muskelfaser geht in eine entsprechende Sehne über, die wiederum am Perichondrium des Aryknorpels oder an dem Schildknorpelwulst inseriert. Nur einmal konnten drei Fasern mit gemeinsamer Endsehne im Ursprungsgebiet des Stimmbandmuskels beobachtet werden. Die Regel des Muskelfaser-Sehnenübergangs am Schildknorpel ist ein stumpfes Zulaufen der Plasmodien, die sich unvermittelt in der Bindegewebsplatte des Faserwulstes zu verankern scheinen.

Am Aryknorpel liegen mehr differenzierte Verhältnisse vor: Man sieht spitz zulaufende Fasern in Sehnen übergehen. Kurz vor der Insertion spalten sich einzelne Plasmodien auf, wobei ein Faserteil sogleich in eine Sehne einmündet, der andere dagegen erst vor dem Perichondrium einen sehnigen Verlauf nimmt. Weitere Fasern formen sich zu einer knospigen Struktur um, an die sich Sehnengewebe anschließt. Andere Plasmodien setzen sich zylindrisch in einer Sehne fort. Ein Teil einer endenden Faser kann aus Muskelfibrillen bestehen, während in die übrigen Teile schon kollagene Fibrillen eindringen. Es finden sich bindegewebige Faserunterbrechungen, möglicherweise als Zwischensehnen deutbar. Spitzwinklig in das Sarkolemm einer Nachbarfaser einstrahlende Plasmodien ließen sich mehrmals nachweisen.

Bei einem - wahrscheinlich älteren-Rhesusaffen verteilen sich Fettzellen mehrreihig gelagert, aber auch vereinzelt in unregelmässigen Abständen, im intermuskulären Bindegewebe (Abb. 30). Abb. 31, 32 und 33 zeigen motorische Endplatten, die vorwiegend im mittleren Drittel des M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus anzutreffen sind.

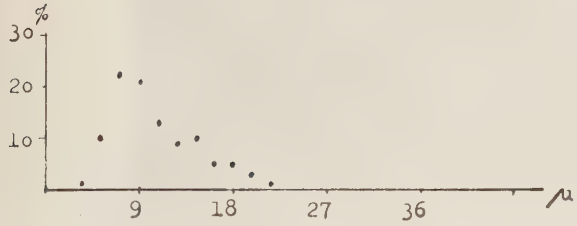
4. Befunde an den übrigen Kehlkopfmuskeln beim Rhesusaffen

Die Muskelfasern des M. cricoarytaenoideus lat. fallen durch eine intensive Faservernetzung, die in allen Bereichen nachweisbar ist, auf. Das Fibrillenlager der Plasmodien scheint in dem gesamten Muskel stark aufgelockert zu sein. Zwischen den Fibrillenbündeln sind relativ große Abstände auszumachen, die von Sarkoplasma und massenhaft auftretenden runden Körnchen - kleiner als 1 u - ausgefüllt sind. Am Faserrand kommt es da, wo sich die gekörnte Plasmastruktur anreichert, zu einer geringen Ausweitung des Sarkolemms. Diese plasmatischen Seitenknospen enthalten einige Kerne. Sie sind zwischen 20 und 50 u lang und 2 bis 9 u breit. Sie kommen bevorzugt im mittleren Verlauf des Lateralis vor. Ausgedehntere Formen - etwa 55 u Länge und 36 u Breite - sieht man im ventralen Ursprungsgebiet am Ringknorpel (Abb. 34), wo auch von Fibrillensträngen durchzogene Endkolben auftreten. Die Muskelfaserbreite gleicht in Ausdehnung und Verteilung weitgehend den im M. thyreoarytaenoideus ext. aufgefundenen Verhältnissen.

Im lateralen Anteil des M. interarytaenoideus kurz vor seiner Insertion am Aryknorpel finden sich entlang eines Bindegewebsseptums, in das die Muskelfasern beiderseits spitzwinklig einstrahlen, auf engem Raum etwa 15 bis 20 Endkolben und Seitenknospen. Einige Knospen erreichen eine Länge bis zu 113 u, eine Breite bis zu 36 u. Ein birnenförmiger Endkolben mißt 50 u im Durchmesser (Abb. 35). Unter dem ausgebauchten Sarkolemm der Seitenknospen kann ein massiver Fibrillenstrang verlaufen, ersichtlich aus Abb. 36. In anderen kolbigen Ausbuchtungen werden dagegen fibrilläre Strukturen vermißt. Es werden Knospen mit groben, aber auch sehr fein gekörnten Granula beobachtet.

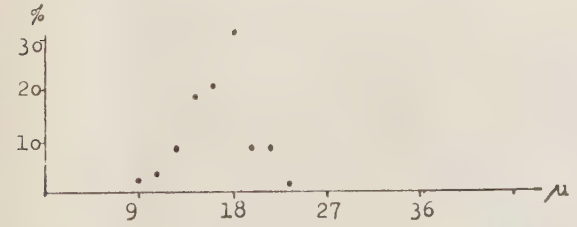
Die Faserdicken des M. interarytaenoideus bewegen sich in einem relativ niedrigen Größenbereich, weil die Fasern oval geformt sind und der kleinere Durchmesser der Ellipse gemessen wurde. Wichtiger als die absoluten Größen erscheint die Feststellung, daß die inneren, dem Aryknorpel naheliegenden Fasern dünn und zahlreich sind (s. Diagramm; hohe Werte links), während die äußeren dick und selten auftreten (niedrige Werte rechts).

Muskelfaserdurchmesser von je 100 ausgemessenen Einzelfasern einiger innerer Kehlkopfmuskeln beim Rhesusaffen.

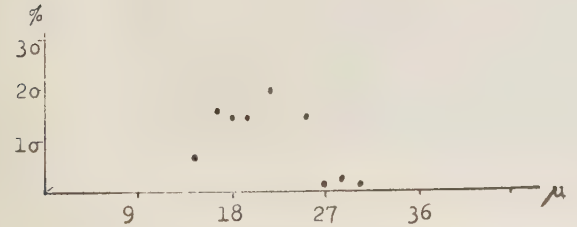


M.interarytaenoideus

M.cricoarytaenoideus lateralis



M.vocalis



M.thyreoarytaenoideus

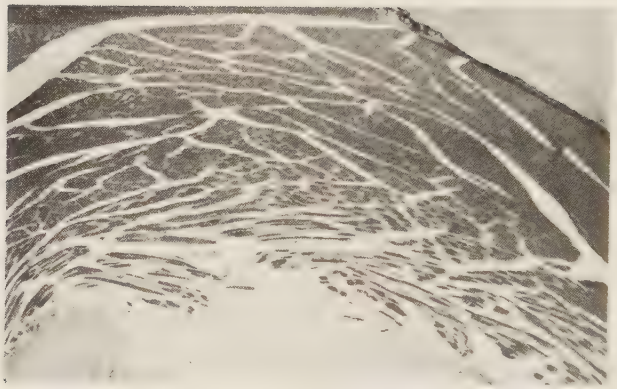


Abb. 29 Faserbündelung mit verschiedener Verlaufsrich - tung. Horizontalschnitt des M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus.
Vergr. 10 fach, Färbung nach Goldner

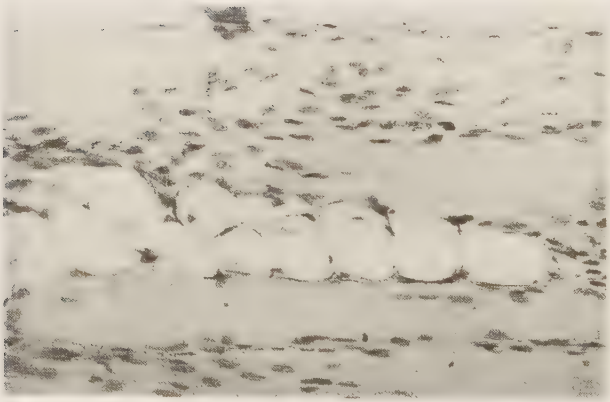


Abb. 30 Fettgewebe im M. thyreoarytaenoideus des Rhèsus-affen.
Vergr. 100 fach, Färbung nach Weigert

Abb. 31 Motorische Endplatten im mittleren Drittel des Thyreoarytaenoideus beim Rhesusaffen Vergr. 40 fach, Färbung nach Weigert

Abb. 32 Motorische Endplatte im mittleren Drittel des M. thyreoarytaenoideus des Rhesusaffen Vergr. 160 fach, Färbung nach Weigert

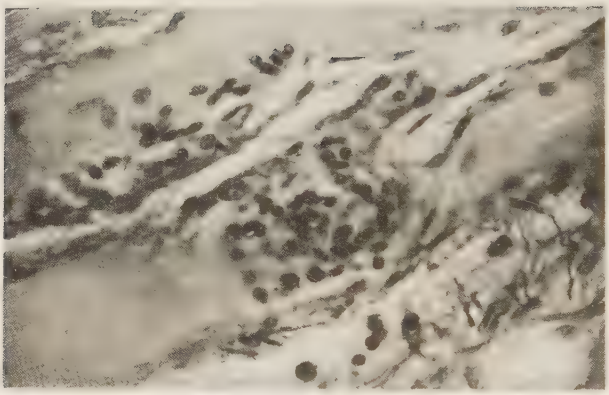


Abb. 33 Motorische Endplatte im mittleren Drittel des M. thyreoarytaenoideus beim Rhesusaffen. Vergr. 160 fach, Färbung nach van Gieson

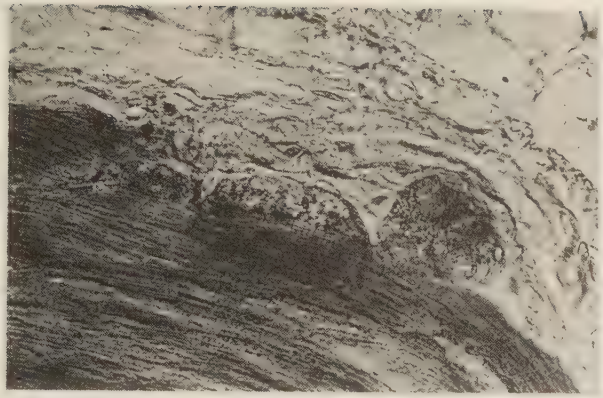


Abb. 34 Seitenknospen im M. cricoarytaenoideus lateralis nahe dem Ringknorpel des Rhesusaffen. Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

Abb. 35 Wie oben. Vergrößerung 40 fach

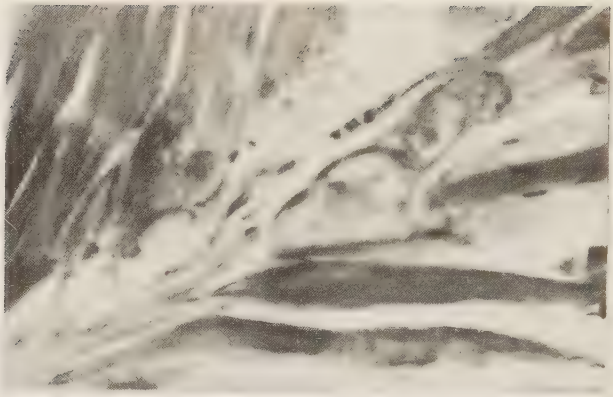


Abb. 36 Seitenknospen im M. interarytaenoideus des Rhesusaffen.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

Abb. 37 Muskelfasersyncytium im M. cricothyreoideus des Rhesusaffen.
Vergr. 280 fach, Färbung nach Goldner

5. Der Stimmbandmuskel beim Rind

Am Rinderkehlkopf ist die Stimmlippe von einem kräftigen Stimmbandmuskel unterpolstert. Dieser besteht aus Bündeln, in denen die Muskelfasern dicht nebeneinander gelagert sind. Die Bündeleinheiten werden durch dünne Bindegewebssepten getrennt, die in den Randgebieten des Muskels stärker ausgebildet sind, im Muskelzentrum aber teilweise kaum nachweisbar waren, so daß sich im histologischen Präparat das Bild einer kompakten Muskelplatte bietet.

Der Faserverlauf erweckt den Eindruck weitgehender Parallelität. Verfolgt man die Plasmodien genauer über weitere Strecken, so sind aber doch anastomosierende Faserabzweigungen zu sehen (Abb. 38). Diese scheinen in den Ursprungs- und Ansatzgebieten stärker ausgeprägt zu sein.

Der Stimmbandmuskel des Rindes bietet eindrucksvolle Bilder von End- und Seitenknospen, die über den gesamten Muskel verteilt zu finden sind, vor allem in den Bereichen, wo Muskelfasern von Bindegewebe, Knorpel oder Drüsen begrenzt werden. Wir sahen Seitenknospen von einer Länge zwischen 27 und 252 u bei einer Breitenausdehnung von 12 bis 36 u (Abb. 39, 40, 41). Sie kommen vereinzelt vor, können sich in Form einer hintereinander geordneten Reihe aus einer Faser ausstülpen, treten aber auch zu Feldern gehäuft auf. Bis zu 80 u lange und 45 u breite Endkolben fallen durch ihre unterschiedliche Struktur auf: Der zentrale Fibrillenstamm einer Faser kann sich buschartig aufsplittern. Seitenknospen beiderseits des gleichen Faserendes kommunizieren mit einem Endkolben (Abb. 42, 43). Bei anderen Formen wird die Endausbuchtung von spiralig angeordneten Fibrillenbündeln durchzogen (Abb. 44). Schließlich lassen sich Endknospen erkennen, deren Fibrillenverband sich aufzweigt, um randwärts verlaufend einen Sarkoplasmahof zu umfassen (Abb. 45). In gleicher Häufigkeit und Vielgestaltigkeit sind die beschriebenen Knospenstrukturen im Stimmbandmuskel des Kalbes nachweisbar (Abb. 46).

Hinsichtlich der Faserdicke erlaubt der Stimmuskel keine Differenzierung in einen M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus ext. Die durchschnittliche Faserbreite liegt um 37 u bei einem Schwankungsbereich zwischen 20 und 63 u. Die Muskelkerne sind meist um 16 u lang und 2 u breit, von spindelförmiger Gestalt und zahlreich axial am Faserrand angeordnet.

Der Muskelfaser-Sehnenübergang vollzieht sich am Schildknorpel derart, daß sich mehrere Plasmodien zu einem Bündel ordnen, um dann in eine lange, gemeinsame Sehne überzugehen. Nicht alle Fasern verlaufen vom Ursprung bis zum Ansatz durchgehend, oft enden sie in Sehnen übergehend im intermuskulären, kollagenen Bindegewebe.

Im mittleren Muskeldrittel treten beim Rind, wie auch beim Schwein, zwischen die Muskelfasern eingebettet, große Drüsenkomplexe von spindelförmiger Gestalt auf (Abb. 46).

Abb. 38 Syncytiale Faserstruktur im M. thyreoarytaenoideus des Rindes.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

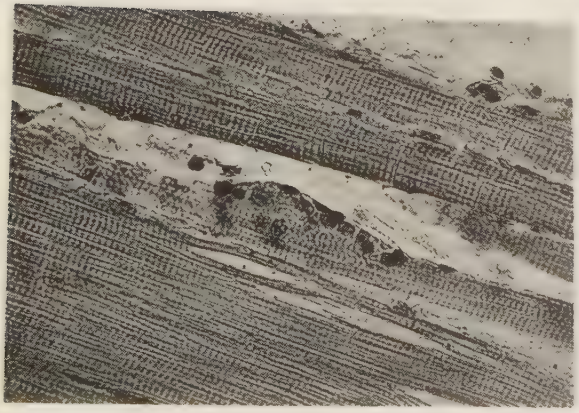


Abb. 39 Kleine kernreiche Seitenknospe im M. thyreoary - taenoideus des Rindes.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

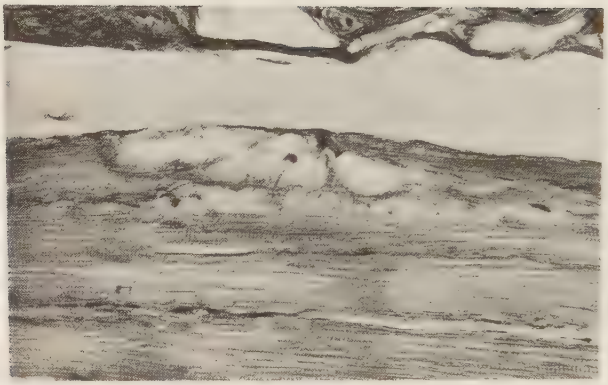


Abb. 40 Zwei Seitenknospen im Ursprungsgebiet des M. thyreoarytaenoideus.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

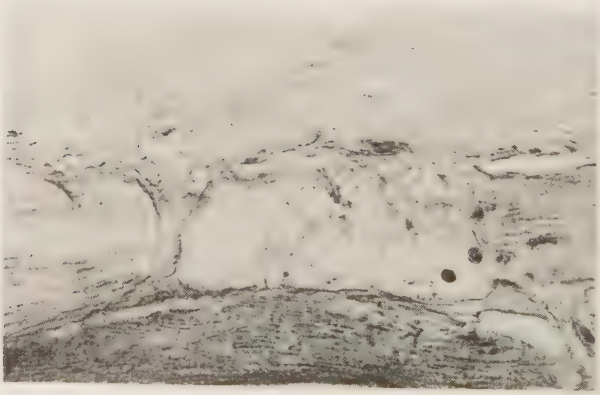


Abb. 41 Seitenknospe im M. thyreoarytaenoideus des Rindes.
Vergr. 160 fach, Ölimmersion, Färbung nach Goldner

Abb. 42 Endkolben aus dem M. thyreoarytaenoideus des Rindes.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

Abb. 43 Ausschnitt aus Abb. 42

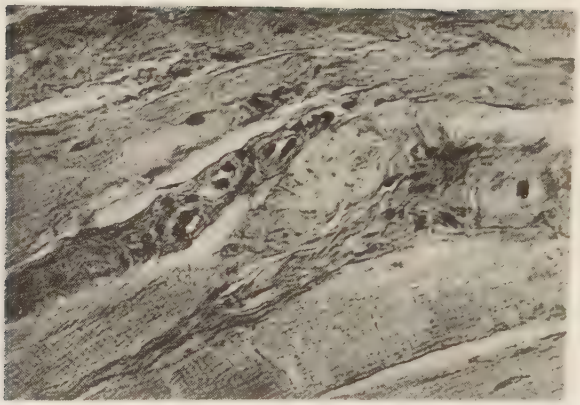


Abb. 44 Endkolben aus dem M. thyreoarytaenoideus des Rindes.
Vergr. 160 fach, Färbung nach Goldner

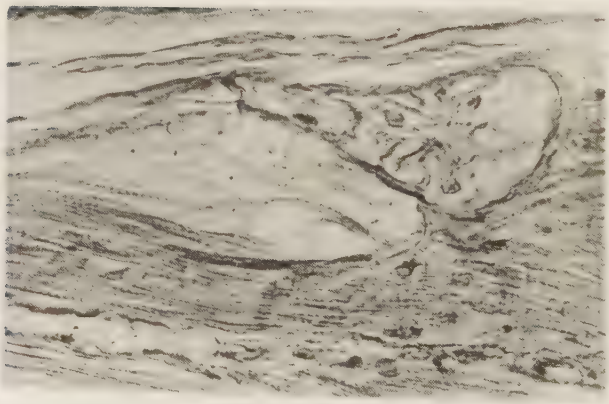


Abb. 45 Endkolben aus dem Stimmbandmuskel des Rindes.
Vergr. 160 fach, Ölimmersion, Färbung nach Goldner

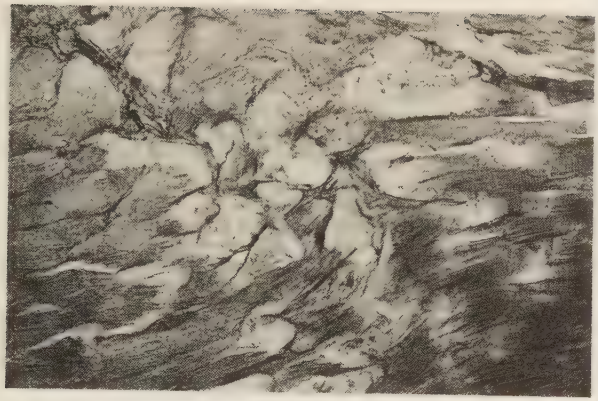


Abb. 46 Knospenareal im Stimmbandmuskel des Kalbes.
Vergr. 82 fach, Färbung nach Goldner

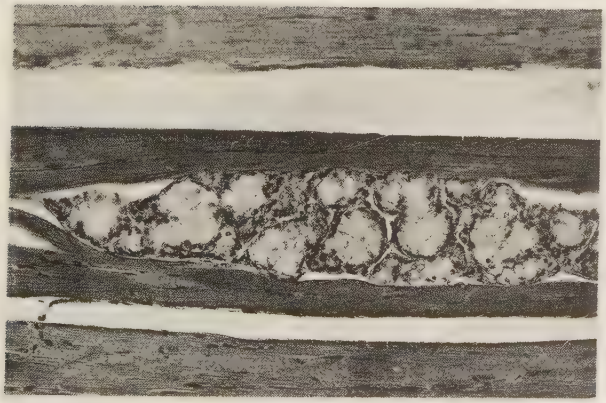


Abb. 47 Drüsengewebe im Stimmbandmuskel des Schweines.
Vergr. 64 fach, Färbung nach Goldner

D. DISKUSSION

1.) Die Muskelfasergeflechte

Die Anastomosenbildung der Muskelfasern ist im Stimmbandmuskel aller hier untersuchten Spezies konstant nachweisbar. Das Prinzip der anastomotischen Netzbildung ist in der tierischen Kehlkopfmuskulatur stärker ausgeprägt als in der menschlichen. Die Intensität der Vernetzung des Vokalis - systems verschiedener Tierarten ist nur geringen Schwankungen unterworfen. Die Tendenz der Fasergeflechtbildung in den einzelnen Kehlkopfmuskeln ist unterschiedlich. Während der M. thyreoarytaenoideus ext. und der M. vocalis eine relativ geringe Neigung zur Anastomosenbildung zeigen, imponiert der M. cricoarytaenoideus lat., besonders aber der M. cricothyreoideus durch eine intensiv vernetzte, einem Gitter vergleichbare räumliche Faserstruktur. Goerttlers (1950) Befunde, nach denen sich Geflechte nur in den inneren Abschnitten des M. vocalis und M. interarytaenoideus lokalisieren lassen, konnten nicht bestätigt werden. Nach den vorliegenden Unter - suchungen treten beim Menschen im medialen Teil des M. vocalis vermehrt Anastomosen auf, sind jedoch nicht auf diese Lokalisation beschränkt, sondern lassen sich gebietsweise über den gesamten Bereich des M. vocalis und M. thyreoarytaenoideus ext. verteilt finden und sind darüberhinaus in den übrigen inneren Kehlkopfmuskeln in teils noch stärkerem Maße ausgeprägt nachweisbar. Es stellt sich die Frage, wie das Auftreten der Syncytialbildungen zu erklären ist.

a) Entwicklungsgeschichtliche Gesichtspunkte

Goerttler (1950) hat die Hypothese aufgestellt, daß die Muskulatur des sog. "alten Sphincters" (die inneren Schichten des M. vocalis und des M. interarytaenoideus) und zwar nur diese, vom Anlagematerial der Herzmuskulatur abzuleiten ist. Es soll sich nicht nur morphologisch, sondern auch genetisch um Herzmuskulatur handeln. Nach den vorliegenden Untersuchungen hat die innere Larynxmuskulatur syncytialen Charakter. Es existieren jedoch in allen Muskeln, auch im medialen Anteil des M. vocalis Areale und Bündel, in denen die Fasern keine anastomosierenden Verbindungen aufzunehmen scheinen. Sonstige morphologische Kriterien für eine Verwandtschaft mit der Herz - muskulatur, wie z.B. die Existenz von Glanzstreifen, Mittelständigkeit der Kerne mit umgebenden Endoplasmasäulen, wurden nicht nur bei den Säugern,

sondern auch in der Kehlkopfmuskulatur sämtlicher menschlicher Individuen vermißt. Der Versuch Goerttlers, ontogenetisch eine Beziehung zwischen Myocardanlage und Kehlkopfsphincter zu sehen, ist auch unbegründet, weil nach Göppert (1897) - er wird von Goerttler als bester Kenner der Entwicklungsgeschichte dieses Gebietes zitiert - die Schließmuskulatur phylogenetisch von den Mm. laryngei dorsales und ventrales abstammt. Diese Muskeln sind aber auf Kiemenbogenmuskulatur , nicht auf Herzmuskulatur zurückzuführen. Nach Berlis und Keller (1960) ist das Gestaltungsprinzip der Anastomose in der gesamten Skelettmuskulatur in gleicher Weise veranlagt. Das Auftreten von Fasersyncytien soll der Wachstumsintensität eines Muskels umgekehrt proportional sein. Demnach müßte die Kehlkopfmuskulatur eine geringere Wachstumstendenz aufweisen als die Skelettmuskulatur. Die Autoren sind der Ansicht, daß die Syncytialbildungen in der Muskulatur der Zunge, der Uvula, des Kehlkopfes und des Ösophagus als Extremformen dieses allgemeinen Bauprinzipes zu betrachten sind. Rein entwicklungsmechanisch entsteht die Syncytialstruktur dadurch, daß die Fasereinheiten sich unvollständig teilen.

b) Mechanische Gesichtspunkte

Es gelang Goerttler (1935) experimentell durch Drehung eines Skelettmuskelstückes im M. vastus lat. des Kaninchens um 90 Grad Muskelfasergeflechte zu erzeugen. Die entstandene Struktur wird als Reaktion auf quer zur Faserrichtung angreifende funktionelle Beanspruchungen im Sinne einer Regulation aufgefaßt. Der Autor sieht in Schwingungen während der Stimmerzeugung Zugkräfte, die quer zur Verlaufsrichtung der Muskelfasern angreifen und damit Geflechtsstrukturen induzieren. Dieser Auffassung widerspricht das Auftreten von Muskelfasersyncytien im Stimmbandmuskel des Kaninchens, bei dem die durch Schwingungen erzeugten Querkräfte eine untergeordnete Rolle spielen.

Es muß auch betont werden, daß die geschilderte Baueigentümlichkeit der syncytialen Anastomosierung nicht nur in der Kehlkopfmuskulatur gefundenwird. Auch in den mimischen Muskeln, der Augen-, Zungen-, Uvula- und Ösophagusmuskulatur beobachtet man ähnliches, also in Muskelelementen, die sich nicht von Ursegmenten entwickeln und mechanisch ganz andersartig beansprucht werden. Es ist auffallend, Faseranastomosen in denjenigen Muskeln stark ausgeprägt vorzufinden, die nicht nur wie die gewöhnlichen Skelettmuskeln, vorwiegend lineare, sondern auch flächenhafte (mimische Muskulatur) und dreidimensionale

Bewegungen (Herzmuskulatur, Zunge, Uvula) ausführen. Zu der Muskulatur, deren Funktionsrichtung eine zwei- und dreidimensionale ist, gehört die der Sphincteren. Ihre Feinstruktur ist netzförmig gestaltet (Ösophagus, Beckenbodenmuskulatur). Auch die inneren Kehlkopfmuskeln sind die Mm. cricoarytaenoidei posteriores ausgenommen- als Schließmuskulatur aufzufassen. Aufgabe dieses Sphincters ist es, durch Verschluß des Kehlkopfes das Eindringen von Fremdkörpern zu verhindern, durch Absperren der Luft der Bauchpresse Wirksamkeit zu verleihen und eine momentane Luftanhäufung beim Hustenakt zu ermöglichen (Pressman 1941). Darüber hinaus leistet die innere Kehlkopfmuskulatur bei der Betätigung des Schluckmechanismus und bei der Atmung Dauerarbeit, die Stimmritze wird während der Inspiration erweitert, nach der Exspiration verengt. Negus (1957) betonte, daß in der aufsteigenden Tierreihe die Stimmgebung gegenüber der Atem- und Schluckfunktion zweitrangig ist. Wenn diesem Mechanismus ein syncytiales Muskelfasergeflecht als morphologisches Substrat zugrunde liegt, so können wir die Aussage von Negus bestätigen. Die phylogenetisch spät erworbene Fähigkeit des Artikulierens scheint mit der Differenzierung des Vokalissystems in zopfartig angeordnete Bündeleinheiten, die sich bei den Primaten vorbilden, einherzugehen (Tautz und Rohen 1967). Das Bauprinzip des Geflechtes bleibt gebietsweise deutlich erhalten, zeigt jedoch in der Stimmbandmuskulatur eine geringere Ausprägung als etwa im M. cricoarytaenoideus lateralis. Die Bündelung und zunehmende Individualisierung der Einzelfasern erlaubt gegenüber der monotonen Sphincterfunktion feinere Abstufungen der Kontraktion während der Stimmgebung.

2.) Die Ringbinden der quergestreiften Muskulatur

Diese von Heidenhain (1918) beschriebenen und benannten Sonderstrukturen der quergestreiften Muskulatur konnte Goerttler (1950) auch im M. vocalis des Menschen nachweisen. In den vorliegenden Untersuchungen war es lediglich in einem Falle möglich, quergestreifte Ringbinden aufzufinden und zwar im inneren Bezirk des M. interarytaenoideus eines 73-jährigen Individuums. Das seltene Auftreten dieser Strukturen kann darauf zurückzuführen sein, daß von uns vorwiegend jugendliches Material untersucht wurde, während Goerttler ausschließlich Kehlköpfe Erwachsener explorierte. Ringbinden

sollen nach Wohlfahrts (1938) Befunden an Augenmuskeln erstmals im zwanzigsten Lebensjahr auftreten und im Alter zunehmen. Schwarz (1925) stellte fest, daß das Vorkommen quergestreifter Ringbinden in der Augenmuskulatur des Hundes inkonstant ist. Gleiches könnte für die innere Kehlkopfmuskulatur zutreffen.

Wir konnten jedoch bei allen untersuchten Spezies und Altersklassen sehr häufig den Befund erheben, daß die Fibrillenbündel der Muskelfasern von einem streng parallelen Verlauf abweichen. Sie scheinen sich innerhalb der Faser miteinander zu verflechten.

Thulin (1908) sah erstmals spiralig angeordnete Fibrillenstränge in der Uvula des Menschen. Häggqvist (1931) wies auf deren Auftreten in Muskelfasern verschiedener Tierklassen hin. Stöhr (1947) beschrieb sie in der Muskulatur des Ösophagus, Goerttler (1950) in der des M. vocalis. Berlis und Keller (1960) sahen Spiralen aus Myofibrillenbündeln im M. rectus abdominis. Man kann annehmen, daß die spiralige Anordnung der Myofibrillen in einer Muskelfaser ein allgemeines Konstruktionsprinzip quergestreifter Muskulatur darstellt, deren Extremform die Gestalt der Ringbinde annimmt, ohne den biologischen Wert der normalen Faser zu verlieren. Diese Extremstrukturen sind bevorzugt in der Muskulatur lokalisiert, die nicht von den Ursegmenten abzuleiten ist (Herz, Zunge, Augenmuskulatur, Uvula, Ösophagus, Kehlkopf). Funktionell sind diese Organe durch intensive Dauertätigkeit ausgezeichnet.

3.) Endkolben und Seitenknospen

Erstmals wurde von Thulin (1908) auf Sarkoplasmaausstülpungen an Muskelfasern in der menschlichen Uvula hingewiesen. Graf (1949) beschrieb diese Strukturen eingehend und versuchte sie mechanisch im Sinne einer Verankerungsfunktion, die durch deren vermehrte Oberflächenentwicklung begünstigt sein soll, zu deuten. Dieser Vorstellung einer mechanischen Befestigung käme wahrscheinlich die Ausbildung von Zwischensehnen näher als eine Fixierung mittels der schlaffen Sarkolemmausbuchtungen in Form von Endkolben und Seitenknospen.

Stöhr (1947) sah in den Knospenstrukturen des Ösophagus hyperplastische Neubildungen, die dem Verfall bestimmt sein sollen. Diese degenerative Deu-

tung ist nur schwer mit unseren Befunden an der Kehlkopfmuskulatur in Einklang zu bringe. Wir konnten Protoplasmaknospen bei allen untersuchten Spezies nachweisen. Bei menschlichen Individuen treten sie schon im Alter von 1 1/2 Jahren häufig auf und lassen sich bis ins hohe Alter verfolgen. Man müßte weiterhin erwarten, daß auch der Fibrillenverband in den Abbauprozeß mit einbezogen würde, etwa in Form einer wachsartigen Degeneration. Dafür bieten sich keine Anhaltspunkte. Elektronenoptische Untersuchungen (Voth und Rohen 1962) lassen den Verdacht auf ein degeneratives Geschehen nicht zu.

Plasmareiche Faserstrukturen wurden auch von Pfuhl (1937) während der Regenerationsphase von Muskelplasmodien in der Skelettmuskulatur beschrieben. Wollte man einen regenerativen Vorgang als Ursache der von uns gesehenen Muskelknospen annehmen, so müßte eine Schädigung und ein Abbau vorausgegangen sein. Es wäre weiterhin eine Zellinfiltration in Form von Histiozyten und Granulozyten zu erwarten. Nach unseren Befunden liegen dafür keine Hinweise vor.

Goerttler (1960/ 61) deutet die durch einen spiraligen Fibrillenverlauf gekammerten Endkolben und Seitenknospen als myofibrilläre Endorgane, die im Dienste eines propriozeptiven Reglerreflexes stehen sollen, dem bei der Phonation eine entscheidende Bedeutung zugeordnet wird. Ob diesen Strukturen tatsächlich eine zentrale, nervale Stellung während der Stimmgebung zukommt, erscheint fraglich, da wir gekammerte Seitenknospen und Endkolben auch in Stimmbandmuskeln beim Rind, Kalb und Schwein, deren stimmliches Leistungsvermögen verglichen mit dem des Menschen, eingeschränkt erscheint und in dieser Hinsicht wohl kaum mit einem derart spezifischen, morphologischen Substrat ausgestattet zu sein braucht, finden konnten.

Voth und Rohen (1962) wiesen elektronenmikroskopisch einen hohen Gehalt an Sarkoplasma und Mitochondrien in den Seitenknospen der Uvula nach. Zu gleichen Resultaten kam Manni (1960), der im M. vocalis typische Skelettmuskelfasern ausmachte, daneben aber Plasmodien vorfand, die durch einen enormen Mitochondrienreichtum ausgezeichnet sind. Diese Beobachtungen lassen den Schluß zu, daß die plasmareichen Faserstrukturen eine hohe Stoffwechseltätigkeit aufweisen. Das könnte in der Kehlkopfmuskulatur Ausdruck einer Dauertätigkeit während der Atmung und des Schluckens, sekundär erst

während der Phonation sein. Mit dieser Vorstellung läßt sich einmal das Vorkommen sarkoplasmatischer Knospenstrukturen bei allen hier untersuchten Spezies erklären, zum anderen wird dadurch ihr Auftreten in den übrigen Organen (wie Herz, Zunge, Uvula, Ösophagus, Auge, inneres Ohr), die intensiver Dauertätigkeit unterworfen sind, mehr verständlich. Seitenknospen und Endkolben wurden beim Neugeborenen einmal im M. circoarytaenoideus lat. angetroffen, während sie in den anderen inneren Kehlkopfmuskeln nicht nachweisbar waren. Sie sind im Alter von 1 1/2 Jahren schon nahezu in jedem Präparat erkennbar. Diese Befunde weisen darauf hin, daß die funktionelle Dauerbelastung der Atem- und Schluckbewegungen des Kehlkopfes nach der Geburt Strukturveränderungen veranlassen, die sich in Form der stoffwechselaktiven Plasmaausstülpungen manifestieren.

4.) Histochemische und biochemische Zusammenhänge

Imhofer (1913) unterschied hinsichtlich der Arbeitsleistung drei Muskelsysteme: die Herzmuskulatur, die Muskulatur des Stimmbandes und die Skelettmuskulatur. Er begründete die Einteilung damit, daß die Anhäufung des Abnutzungspigmentes in den drei Muskelgruppen stufenweise abnimmt. Das Herz als aktivstes muskuläres Organ zeigt die stärkste Pigmentablagerung, es folgt der M. vocalis, am geringsten beansprucht, und damit am wenigsten mit Pigment ausgestattet, ist die Skelettmuskulatur.

Neuere biochemische Untersuchungen scheinen diese funktionelle Unterscheidung zu bestätigen. Bozzi und Stirpe (1964) erzogen Ratten 70 Tage Vitamin E. Die Skelettmuskulatur zeigte danach eine dystrophische Degeneration. Der M. vocalis und die Herzmuskulatur blieben unverändert. Perrino (1963) fand im M. vocalis des Kaninchens die Glykolyseaktivität gegenüber der des M. sternothyreoideus um das Doppelte gesteigert, beim Menschen um ein Drittel. Diese Ergebnisse und unsere Befunde vom Auftreten syncytialer Geflechtstrukturen, von Seitenknospen und Endkolben erlauben es, dem M. vocalis biochemisch und morphologisch eine Zwischenstellung zwischen Herz- und Skelettmuskulatur zuzuordnen, die aus der funktionellen Beanspruchung resultiert. Die Unterschiede, die das histologische Bild des M. vocalis und des M. interarytaenoideus gegenüber der gewöhnlichen Skelettmuskulatur aufweist sowie eine Anzahl von Strukturmerkmalen, durch die die genannten Muskeln, vergleichbar mit den Verhältnissen bei der Herzmuskulatur, ge-

kennzeichnet sind, machen Goerttlers (1950) interessante Hypothese verständlich, den "alten Kehlkopfsphincter" mit der Herzmuskulatur zu identifizieren. Wenn auch diese Identifizierung, wie oben erwähnt, nicht aufrecht erhalten werden kann, so muß doch die Existenz von Syncytien und proto - plasmareichen Faserstrukturen, also morphologischen Kriterien, die der übrigen Skelettmuskulatur entgehen, hervorgehoben werden.

Bei den meisten bisherigen Untersuchungen stand die Frage nach der Struktur des M. vocalis im Vordergrund. Demgegenüber wurden die morphologischen und biochemischen Eigenschaften der übrigen Kehlkopfmuskeln weitgehend vernachlässigt. Es muß betont werden, daß diese Muskeln zusammen mit dem Stimmbandmuskel ein funktionelles System bilden, das entwicklungs - geschichtlich aus einem gemeinsamen Anlagematerial hervorgeht und die anatomische Grundlage für den komplizierten Kehlkopfmechanismus während der Atmung, desSchluckens und der Stimmerzeugung darstellt. Die isolierte Betrachtung einer Einheit dieses Muskelsystems birgt die Gefahr von Fehldeutungen in sich. Nach den vorliegenden Befunden sind die strukturellen Unterschiede der Einzelelemente keine prinzipiellen, sondern nur graduelle.

E. ZUSAMMENFASSUNG

Untersucht wurden Kehlköpfe von Neugeborenen, Kindern, Erwachsenen, Rhesusaffen, Klammeraffen, Rind und Kalb.

Das Vokalissystem

Das Vokalissystem besteht beim Rind aus dicken, von schmalen Bindegewebssepten getrennten Muskelfaserbündeln, die dicht gelagert ein einheitliches Muskelmassiv darstellen. Beim Klammer- und Rhesusaffen kommt es zur Auflockerung der Bündelung, die von lateral nach medial zunimmt. Im menschlichen M. vocalis überkreuzen und durchflechten sich die Muskelbündel auffallend stark. Sie stehen bei allen untersuchten Spezies durch abzweigende Fasergruppen in Verbindung und nehmen in der aufsteigenden Tierreihe einen vermehrt torquierten Verlauf. Die medialen Bündel sind bei den Primaten und beim Menschen feiner, ihr Faserkaliber ist geringer. Es läßt sich hinsichtlich der Faserbreite ein dünnfasriger M. vocalis von einem dickfasrigen M. thyreoarytaenoideus ext. abgrenzen. Es konnten bei allen untersuchten Kehlköpfen Muskelfasergeflechte nachgewiesen werden. Sie sind im Stimmbandmuskel des Menschen am wenigsten ausgeprägt. Die Fasern überlagern und durchflechten sich auch innerhalb der Bündel. Es existieren andererseits auch Plasmodien mit einer inneren torquierten Fibrillenanordnung. Bei allen Spezies wurden schließlich Endkolben und Seitenknospen beobachtet. Sie wurden beim menschlichen Neugeborenen noch nicht gefunden, waren aber beim Eineinhalbjährigen, Siebenjährigen und Erwachsenen in zunehmendem Maße nachweisbar. Beim erwachsenen Menschen bestehen Kaliberschwankungen der Vokalisfasern, die größer sind als bei Jugendlichen und bei Tieren. Die Muskulatur jugendlicher Individuen ist sehr kernreich, das gilt auch für das intermuskuläre Bindegewebe. Beim älteren Menschen treten in einigen Fasern Kernhaufen und Kernketten auf. Muskelbündel und -fasern sind beim Erwachsenen von stark ausgebildetem kollagenen Bindegewebe - von lateral nach medial zunehmend - eingefaßt. Das intermuskuläre Bindegewebe ist beim jugendlichen Menschen und bei den untersuchten Tieren gering entwickelt. Beim Rind enden die Fasern gruppenweise in einer gemeinsamen Sehne. Die der untersuchten Primaten und die des Menschen inserieren bevorzugt einzeln.

Der M. interarytaenoideus zeigt histologisch im Hinblick auf Faser- und Fibrillenanordnung, Fasergeflechtbildungen, auf die Existenz einer dünnfasrigen Innenschicht und dickfasrigen Außenschicht, Kernhaufen. Kernketten, Seitenknospen, Endkolben und auf eine nach innen zunehmend verstärkte Bindegewebseinfassung weitgehend die gleichen Merkmale wie der M. vocalis. Die Bündeleinheiten der Muskelfasern sind jedoch gröber. Sie zeigen einen weniger stark kreuzenden Verlauf. Die Fasergruppe eines Bündels endet in einer gemeinsamen Endsehne. Als zusätzlicher Befund konnten im schleimhautnahen mittleren Drittel des Muskels quergestreifte Ringbinden nachgewiesen werden. Beim Neugeborenen kommen keine Endkolben und Seitenknospen vor, sind aber beim Eineinhalbjährigen auffindbar. Der M. interarytaenoideus des Rhesus- und Klammeraffen besteht aus einer schmalen, dickfasrigen Außenschicht und einer breiten, dünnfasrigen Innenschicht. Wie beim Menschen sind zahlreiche Knospenstrukturen auszumachen.

Abschließend wurde der M. cricoarytaenoideus lateralis beim Neugeborenen, Rhesus- und Klammeraffen untersucht. Er zeigt bei diesen Spezies eine stark ausgeprägte Netzstruktur, die aus engmaschigen Syncytien aufgebaut ist. Beim Rhesusaffen sind die Fibrillen relativ locker angeordnet. Es existieren reichlich Endkolben und Seitenknospen, die sich bevorzugt in den Insertionsgebieten lokalisiert haben.

Literatur

Albrecht, H.
Zur vergleichenden Anatomie des Säugetierkehlkopfes,
Sitzungsbericht d. kaiserl. Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl. 105, III,
227-322 (1896)

Avril, C.
Kehlkopf und Kehlsack des Schimpansen, Pan troglodytes (Blumenbach 1799).
(Mammalia, Primates, Pongidae). Morph. Jb. 105, 74-129 (1963)

Bach, A.C., Lederer, F.L. and Dinolt, R.
Senile changes in the laryngial musculature.
Arch. of Otolaryng. 34, 47-56 (1941)

Berendes, J. und Vogell, W.
Kehlkopfmuskeln im elektronenmikroskopischen Bild.
Arch. Ohren-Heilkd. u. Zsch. Hals-Nasen-Ohrenheilkd. 176, H. 2,
730-735 (1960)

Brandes, R.
Über den Kehlkopf des Orang-Utan in verschiedenen Altersstadien mit
besonderer Berücksichtigung der Kehlsackfrage.
Morph. Jb. 69, 1-61 (1932)

Berlis G. und L. Keller
Untersuchungen am Skelettmuskel. 2. Mitt.: Der Bau des Primärbündels.
Eine Untersuchung der räumlichen Anordnung der Muskelfasern.
Morph. Jb. 100, 297-321 (1960)

Bozzi, L. e Stirpe, G.
Studio microscopico del musculo vocale del ratto in condizioni di avi -
taminosi E.
Bol. Mal. Orecch. 82, 141-148 (1964)

Eichler, H.
Beiträge zur Histologie des Kehlkopfes der Haussäugetiere.
Arch. f. Anat. u. Phys., Anat. Abt. Jg. (1910), 275-313

Espinosa, A.
Beitrag zur Histologie des Kehlkopfes.
Inaug. Diss. Bern 1913

Franzmann, A.F.
Beiträge zur vergleichenden Anatomie und Histologie des Kehlkopfes
der Säugetiere mit besonderer Berücksichtigung der Haustiere.
Inaug. Diss. Bonn 1907

Fürbringer, M.
Zur Kenntnis der Kehlkopfmuskulatur.
Inaug. Diss. Jena, Verlag H. Dufft 1875

Galetti, C.
Il musculo vocale e i fusi musculari. Studio macro e microscopio.
Otorinolaring. ital. 31, 212-220 (1962)

Goerttler, K.
Die Gestaltungsfähigkeit des quergestreiften Muskelgewebes unter dem Einfluß experimentell abgeänderter Funktionsbedingungen (vorläufige Mitteilung).
Verh. dtsch. Orthopäd. Ges. 30, 34-40 (1935)

- Die Anordnung, Histologie und Histogenese der quergestreiften Muskulatur im menschlichen Stimmband.
Z.f.Anat. u. Entw. Gesch. 115, 352-401 (1950)

- Myofibrilläre nervöse Endorgane im M. interarytaenoideus beim Menschen.
Verh. 1. Europ.Anat.Kongr. Straßburg (1960). Anat. Anz. (Ergänzung zu Bd. 109, 442-55o (1960/61)

- Spezifische myofibrilläre Endorgane in der Wand der menschlichen Glottis.
Arch. Ohren-Heilkd. u. Z. Hals-Nasen-Ohren-Heilkd., 178, H. 2, 313 (1961) Kongr.Ber. 1961 Freiburg i.Br., Teil 2

Göppert, E.
Beiträge zur vergleichenden Anatomie des Kehlkopfes.
Semon's Forschungsreisen Bd. III, 2., 1.Teil (Denkschr. der med.-nat.-Ges. Jena 6, Teil 1, 1897-1901

Graf, P.
Eigenartige Strukturverhältnisse in der Muskulatur der menschlichen Uvula.
Z. Anat. Entw.-Gesch. 114, 399-419 (1949)

Häggqvist, G.
Die Gewebe.
III. Teil, Verlag J. Springer, Berlin 1931

Heidenhain, M.
Beobachtungen über die progressiven Veränderungen der Muskulatur bei Dystrophia myotonica.
Münch. med. Wschr. 8, 85 (1918)

Henle, J.
Handbuch der Eingeweidelehre des Menschen. II. Respirationsapparat, aus Kehlkopf. Handb. d. system. Anat. d. Menschen, Bd. II, Aufl.
Fr. Vieweg & S., Braunschweig 1866

Imhofer, R.
Über das Abnutzungspigment in der Muskulatur der Stimmbänder.
Z. f. Laryng. 5, 388-429

Ito, H.
Histoanatomical studies on the laryngial muscles.
Oto-Rhino-Laryng. Clin. (Kyoto) 52, Nr. 12 (1959)

Jordan, J. et Klayman, St.
Investigations comparatives ayant pour objet la structure histologique de la Lèvre vocale de l'homme et celle du macaque. Rev. Laryng. 86 44-58 (1965)

Kano, S.
Beiträge zur Lehre vom feineren Bau des Kehlkopfes.
Z. Ohrenheilkd. 61, 121-146 (1910)

Kanthack, A.A.
The myology of the larynx.
The J. of Anat. and Phys. 26, N.S. Vol. 6, 279-294 (1892)

Keene, M.F.L.
Muscle spindle in human laryngial muscles.
J. Anat. 95, 25-29 (1961)

Kölliker, A.
Handbuch der Gewebelehre des Menschen.
Bd. 3, 1902 Verlag W. Engelmann, Leipzig

Konig, W.F. and Leden, H.v.
The peripheral nervous system of the human larynx.
Arch. Otolaryng. 74, 494-500 (1961)

Koyama, H.
Histological study of human vocal muscles with special reference to variation with age. J. Oto-Rhino-Laryngol. Soc. Japan 55, 577-581 (1952)

Leutert, G.
Über die histologische Biomorphose der menschlichen Stimmlippen.
Morph. Jb. 106, H.1, 11-72 (1964)

Lubarsch, O.
Über fetthaltige Pigmente.
Zbl. f. allg. Path. u. path. Anat. 13, 881-883 (1902)

Ludwig, C.
Lehrbuch der Physiologie des Menschen, C. Stimm- und Sprachwerkzeuge.
Bd. 1, 567-570, C.F. Wintersche Verlagsbuchhandlung, Heidelberg-Leipzig 1858

Manni, E.
Sur la distribution des Sarcosomes et des Mitochondries dans le Muscle vocal Human.
Aus dem physiolog. Inst. d. Univ. Torino, persönliche Mitteilung.
Zitiert nach Goerttler, Anat. Anz. Ergänzung z. Bd. 109 (1960/61).
Verhandlg. d. 1. Europ. Anat.-Kongr. Straßburg 1960

Meyer, E.
Zur Kenntnis der inneren Kehlkopfmuskeln des Menschen.
Arch. f. Laryng. 6, 428-449 (1897)

Minningerode, B.
Morphologische und funktionelle Untersuchungen zur Stimmgebung der Primaten.
Arch. f. Ohren 181, 408-417 (1963)

Mitsuhashi, H.
Untersuchungen über den Gehalt der Nasen-, Kehlkopf- und Luftwegschleimhaut und das Vorkommen von Fetten, fettähnlichen Stoffen und Pigmenten in normalen und krankhaften Zuständen.
Virchow Arch. 261, 1-31 (1926)

Mündnich, K.
Untersuchungen über den Bau der Nervenendigungen im M. vocalis und M. posticus des Kaninchenlarynx.
Z. Hals-Nasen-Ohrenheilkd. 41, 235-243 (1937)

Negus, V.
The mechanism of the larynx.
Laryngoscope 66, 961-986 (1957)

Némai, J.
Zur Anatomie und Physiologie des Stimmorgans.
Der Stimmbandmuskel. Mschr. f. Ohrenheilkd. Laryng. u. Rhinol. 71, 671-680 (1937)

Némai, J. und Kelemen, G.
Beiträge zur Kenntnis des Gibbonkehlkopfes.
Z. f. Anat. u. Entw. Gesch. 100, 512-520 (1933)

Paulsen, K.
Untersuchungen über das Vorkommen und die Zahl von Muskelspindeln im M. vocalis des Menschen.
Z. f. Zellforsch. 47, 363-366 (1958)

Über Vorkommen und Zahl von Muskelspindeln in inneren Kehlkopfmuskeln des Menschen (M. cricoarytaenoideus dors., M. cricothyreoideus).
Z. Zellforsch. 48, 349-355 (1958)

Pautow, N.A.
Histologische Altersveränderungen an der Schleimhaut des Kehlkopfes.
Z. Hals-Nasen-Ohrenheilkd. 37, 77-86 (1934)

Perrino, A.
Studi sul musculo vocale. Glicolisi anaerobia del musculo vocale di coniglio e di uomo.
Ann. Laring. 62, 626-631 (1963)

Peter, K.
Der Kehlkopf des Kindes.
In: Handbuch d. Anat. d. Kindes, 1. Bd., 526-562, Verlag J. F. Bergmann, München 1936

Pfuhl, W.
Die Regeneration der quergestreiften Muskelfasern nach wachsartiger Degeneration.
Zsch. mikrosk.-anat. Forsch. 41, 569-616 (1937)

Pressman, J.J.
Sphincter action of the larynx.
Arch. of Otolaryng. 33, 351-372 (1941)

Ricci, F.C.
Osservazioni istopatologiche sulla laringe nella seneszenza.
Arch. ital. Otol. IV, s. 48, 590-606 (1936)

Roncallo, P.
Ricerche sul modo di inserzione delle fibre del musculo vocale sul legamento vocale.
Arch. ital. Anat. e di Embriol. 41, 357-367 (1939)

Rühlmann, A.
Untersuchungen über das Zusammenwirken der Muskeln bei einigen häufiger vorkommenden Kehlkopfstellungen.
Wiener Sitzungsber. 69, 257-304 (1874)

Schimert, J.
Über den feineren Bau einiger Muskeln des Menschen.
Zsch. mikr.-anat. Forsch. 36, 215-230 (1934)

Schmalbruch, H.
Fasertypen der menschlichen Muskulatur.
Klin. Wschr. 45. Jg., H. 15, 755-759 (1967)

Schumacher, S.v.
Histologie des Kehlkopfes.
In: Handbuch d. Hals-, Nasen- und Ohrenheilkd. (Denker-Kahler), Bd. 1, /I, 277-424, Springer und Bergmann, Berlin 1925

Schwarz, M.
Über das Vorkommen quergestreifter Ringbinden bei den Augenmuskeln.
Z. f. Anat.u. Entw.-Gesch. 75, 361-388 (1925)

Segre, R.
La laringe senile (Studio anatomico e funzionale). Valsalva 12, 15-38 (1936)

Simonetta, B.
Studio comparativo sul m. tiro-aritenoideo e sul legamento vocale, con particolare riguardo all`inserzione del musculo sul legamento ed alla struttura di alcune parti del legamento stesso, e son osservazioni sullo sviluppo del processo mediano della cartilagine tiroide dell`uomo.
Ric. Morf. 9, 21-69 (1929)

Steinlechner, M.
Über das histologische Verhalten der Kehlkopfmuskeln.
Arch. f. Laryng. 8 (1898)

Stöhr, Ph. jr.
Beobachtungen zur Histopathologie des Muskel- und Nervengewebes im menschlichen Ösophagus.
Z. f. Anat.- u. Entw. Gesch. 114, 185-215 (1949/50)

Tautz, Chr. und J.W. Rohen
Über den konstruktiven Bau des M. vocalis beim Menschen.
Anat. Anz. 120, 409-429 (1967)

Terracol, E. et Ardouin, P.
Les fuseaux et les globes sensitives du larynx.
Acta otolarung. 57, 320-324 (1964)

Thulin, I.
Muskelfasern mit spiralig angeordneten Säulchen.
Anat. Anz. 33, 241-252 (1908)

Verson, E.
Zur Insertionsweise der Muskelfasern.
Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wiss. Math.-nat. Kl. Bd. LVII.
1. Abt. 63-66 (1868)

- Beiträge zur Kenntnis des Kehlkopfes und der Trachea.
Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wiss. Math.-nat. Kl. Bd. LVII,
1. Abt. 1093-1101 (1868)

Voss, H.
Embryonale (undifferenzierte) Muskelelemente in einem Kehlkopf-
muskel des erwachsenen Menschen.
Anat. Anz. 116, 384-386 (1965)

Voth, D. und Rohen, J.W.
Speziale Strukturen der Skeletmuskulatur (Ringbinden, Seitenknospen,
Endkolben) der menschlichen Uvula im elektronenmikroskopischen
Bild.
Z. f. mikr.-anat. Forsch. 69, 472-485 (1963)

Wohlfahrt, G.
Quergestreifte Ringbinden in normalen Augenmuskeln.
Z.f. mikr.-anat. Forsch. 29, 592-604 (1932)

Wustrow, F.
Bau und Funktion des menschlichen Musculus vocalis.
Z. f. Anat. u. Entw.-Gesch. 116, 506-522 (1952)

Zenker, W.
Unterschiede im Strukturbild der myoneuralen Synapsen und im Faser-
aufbau des M. thyreoarytaenoideus des Menschen und des Rhesusaffen.
Verh. Anat. Ges. (Jena), Erg.-Heft z. Bd. 112, Anat. Anz. 12-22 (1963/6

- Neue Untersuchungen über die innere Kehlkopfmuskulatur.
Mschr. Ohrenheilkd. 97, 418-419 (1963)

Zenker, W. und Anzenbacher, H.
Über den M. thyreoarytaenoideus des Rhesusaffen.
Acta anat. 51, 29-49 (1962)

Zuleger, S.
M. verticalis der Katzenzunge.
Z. Zellforsch. 69, 356-361 (1964)

Herrn Professor Dr. J. W. Rohen möchte ich für die Überlassung des Themas sowie seine freundliche Unterstützung bei der Abfassung der Arbeit herzlich danken.

Lebenslauf

Am 24.1.1942 wurde ich als dritter Sohn des Landwirtes Konrad Heckemann und dessen Frau, Hedwig, in Malsfeld geboren.

Ich besuchte fünf Jahre die Volksschule in Malsfeld und wechselte Ostern 1954 in die Quinta des Realgymnasiums in Melsungen über.

1960 legte ich die C-Prüfung an der Kirchenmusikschule in Schlüchtern ab und war 4 Jahre als Organist in Malsfeld tätig. Nach meinem am 14. März 1962 bestandenen Abitur begann ich das Studium der Germanistik und Philosophie an der Philipps-Universität in Marburg, wechselte jedoch noch im gleichen Jahr zum Studium der Medizin über. Am 28.10.1963 legte ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung ab. Danach studierte ich an der Freien Universität Berlin, wo ich die ärztliche Vorprüfung am 6.8.1965 absolvierte. Das klinische Studium setzte ich in Marburg bis zum Staatsexamen 1968/69 fort.

Meine Akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

in Marburg:

Beckmann, Berendes, Bickel, Bommer, Braun-Falco, Buchholz, Dimroth, Dittrich, Dölle, du Mesnil de Rochemont, Exner, Ganz, Gedigk, Hardewig, Hensel, Hettler, Heuser, Hildebrandt, Hohorst, Jacob, Knauff, Korb, Lang, Lehmann-Grube, Linneweh, Löhr, Mann, Martini, Marx, Mattis, Neubauer, Oehmig, Petry, Potts, Rodeck, Rodenhäuser, Rohen, Salfeld, Sauer, Seidel, Schermuly, Schiff, Schleyer, Schlosser, Schmid, Schmidt, Schrappe, Schwaiger, Siegert, Spiegelberg, Staib, Straub, Streicher, Strohmeyer, Schultze, Voss, Walcher, Wendt, Würterle

in Berlin:

Gauer, von Herrath, Körber, Schütte, Schwarz, Siegmund, Ullrich